N° 21 15 NOVEMBRE 1934

Revue générale des Sciences pures et appliquées

FONDATEUR : Louis OLIVIER (1890-1910) — DIRECTEUR : J.-P. LANGLOIS (1910-1923

DIRECTEUR : Louis MANGIN, Membre de l'Institut, Directeur honoraire du Muséum national d'Histoire naturelle

Adresser tout ce qui concerne la rédaction à M. le Docteur Gaston DOIN, 8, place de l'Odéon, Paris.

La reproduction et la traduction des œuvres et des travaux publiés dans la *Revue* sont complètement interdites en France et en pays étrangers y compris la Suède, la Norvège et la Hollande.

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

§ 1. — Sciences mathématiques.

Encore un mot sur la trisection de l'angle.

Une expérience bien souvent répétée m'a appris que l'on ne saurait entrer dans des explications trop détaillées quand il s'agit d'éclairer les amateurs de géométrie, non spécialistes de cette science, sur les constructions qui ne peuvent s'effectuer que de façon approchée alors que, de bonne foi, certains de ces amateurs croient en posséder de rigoureuses (mathématiquement impossibles) particulièrement en ce qui concerne la trisection de l'angle.

Il faut ne pas perdre de vue qu'une construction n'est *rigoureuse*, au sens que les mathématiciens attachent à ce mot, que lorsqu'elle peut s'effectuer au moyen d'un nombre fini de droites et de cercles tracés *sans tâtonnement* pour aboutir à un résultat ne comportant *aucun écart*, si petit qu'il soit, par rapport à celui qu'indique la théorie. On sait d'ailleurs qu'une construction géométrique n'offre ce caractère que si elle ne dépend que d'équations linéaires ou résolubles par radicaux carrés.

S'il n'en est pas ainsi, le problème ne peut être traité que par des constructions *approchées* qui, ainsi que j'en ai fait la remarque en cette Revue même[1], appartiennent nécessairement à l'un ou à l'autre des types ainsi définis :

1° Le tracé d'une des droites intervenant dans la construction comporte *un certain tâtonnement* (ou, ce qui revient au même, l'intervention d'un arc d'une courbe autre que le cercle, telle qu'une conchoïde de droite ou de cercle); mais, à supposer que cette mise en place fût effectuée sans erreur, la construction fournirait un résultat absolument exact. Une telle construction est dite *anormale*;

2° Le tracé de toutes les lignes entrant dans la construction, peut être effectué sans aucun tâtonnement, mais pour aboutir à un résultat qui offre par rapport au résultat théorique *un certain écart*, auquel cas la construction est dite *normale*. On arrive toutefois à trouver de telles constructions avec lesquelles l'écart est si petit (par exemple, un centième de millimètre sur les longueurs, une fraction de minute sur les angles) que, *pratiquement*, de telles solutions normales peuvent être tenues pour l'équivalent d'une solution rigoureuse; *pratiquement*, c'est entendu (il suffit, pour s'en convaincre, d'appliquer la construction à un angle dont le tiers peut être rigoureusement obtenu, comme celui de 45° dont le tiers est la moitié de celui de 30°, susceptible d'une construction rigoureuse), mais *non théoriquement*.

L'écart est si faible qu'il échappe entièrement à notre constatation et c'est pourquoi tant d'amateurs se figurent triompher, par le moyen d'une telle vérification, de la réserve des géomètres professionnels aux yeux de qui l'écart pratiquement indiscernable n'en existe pas moins.

Remarquons en passant que toute construction anormale peut se muer en construction normale grâce à l'emploi d'une *courbe d'erreur*. Pour le faire mieux comprendre je prendrai le cas de tâtonnement qui se rencontre le plus fréquemment dans les constructions anormales : il s'agit de tracer par un point O une droite coupant les courbes C et C' données en des points M et M' tels que le segment MM' ait une

1. T. XLIV, p. 7, 1933.

longueur donnée l. Si, par le point O, on mène des droites très rapprochées les unes des autres, sur chacune desquelles, à partir de son point de rencontre M avec C, on porte le segment $MM_1 = l$, le point M_1 décrit une courbe C_1 dite *courbe d'erreur* qui coupe C' au point M' cherché.

Mais, comme, à simple vue, on se rend approximativement compte de la position que doit occuper la droite OMM', on marque le point M_1 sur deux droites issues de O, voisines de cette position, d'un côté et de l'autre par rapport à elle, et en substituant, dans cet étroit intervalle, la corde de l'arc décrit par le point M_1 à cet arc lui-même, dont il ne s'écarte que d'une quantité négligeable, on prend pour le point M' l'intersection de cette corde et de la ligne C'.

Soit, par exemple, à trisecter l'angle compris entre les rayons OA et OB du cercle de centre O, de diamètre AA' et de rayon $OA = OB = r$. La construction anormale de Nicomède consiste à mener par B une droite coupant le cercle en M et la droite AA' en M', de telle sorte que $MM' = r$. Ici, le lieu du point M_1 serait un limaçon de Pascal, conchoïde du cercle donné pour le point B; en substituant à l'arc très petit de ce limaçon, qui s'étend de part et d'autre du point M', la corde de cet arc, on obtient une construction normale du type ci-dessus.

Dans une étude approfondie du problème de la trisection, actuellement sous presse à l'*Enseignement mathématique*, j'aboutis à la construction normale suivante que j'ai lieu de croire nouvelle et qui me semble plus simple que toutes celles données jusqu'à ce jour :

La droite qui joint le milieu de l'arc AB de la figure précédente au milieu du rayon OA' est parallèle à la trisectrice cherchée de l'angle AOB.

L'écart que comporte cette construction, qui n'est que d'une vingtaine de minutes pour $AOB = 90°$, reste inférieur à dix secondes jusqu'à $AOB = 45°$.

Maurice d'Ocagne, de l'Académie des Sciences.

*
**

Errata.

Dans la chronique de M. d'Ocagne, parue dans le n° 17-18, sous le titre : *Solution du problème de la trisection de l'angle*, se sont glissées des fautes d'impression que nos lecteurs voudront bien corriger ainsi :

Page 481, 1re colonne, 4e et 5e lignes, il faut intervertir l'ordre des mots *normales* et *anormales*.

Même page, 2e colonne, 1re et 16e lignes, au lieu de : *anormal*, lire *normal*.

§ 2. — Sciences médicales.

A propos d'une alerte.

Le 10 septembre dernier, une dépêche de Bucarest signalait que plusieurs cas de choléra s'étaient déclarés au camp militaire de Mamaia, à quelques kilomètres de Constantza. La panique s'empara des estivants de la région, qui est fort fréquentée, les plages environnantes furent immédiatement désertées et l'anxiété fut très vive en Roumanie; on n'oserait dire qu'il n'y eut pas quelque émotion dans les pays voisins et même dans d'autres. Le choléra en Europe! Il y avait dans cette nouvelle de quoi causer de justes appréhensions. Deux jours plus tard, une nouvelle dépêche venait rassurer les esprits : le bacille du choléra restait parfaitement étranger à cette alerte. Il s'agissait d'une intoxication collective par des viandes avariées.

En réalité, si les hygiénistes s'émurent, ce dut être de façon modérée. Il est exceptionnel que le choléra apparaisse ainsi de façon subite dans nos pays. On peut bien alléguer qu'il n'en fut pas autrement en 1892 quand il éclata à Nanterre, aux portes de Paris, mais l'exception confirme la règle et le fait est rarissime. L'étude des épidémies précédentes nous a parfaitement renseignés sur la façon dont les cataclysmes de ce genre se déchaînent, et peut-être n'est-il pas une maladie de cette catégorie dont la marche, pour ainsi dire classique, soit mieux connue et la surveillance mieux organisée.

Le choléra a un foyer originel qui est l'Inde. Il y sévit à l'état endémique, avec, de temps en temps, des explosions qui accumulent les victimes en nombre impressionnant. En dehors même de ces paroxysmes, il ne cesse d'en faire, et la maladie assume à elle seule la responsabilité d'un dixième peut-être des morts dans cette région. Cette année même, les statistiques nous apprennent que l'on a enregistré, aux Indes, dans les six premiers mois, 21.494 cas et 10.307 décès. Ce sont là des chiffres banals, si l'on peut dire. En 1933, dans le même pays, on a compté 63.865 cholériques, dont 30.649 sont morts. Etant donné le caractère terriblement contagieux de cette affection et la gravité qu'elle revêt communément, on pense bien qu'un pareil foyer est l'objet d'une surveillance constante, non pas seulement de la part des contrées limitrophes, mais aussi de celles qui ne le sont pas, car c'est de là, dans l'immense majorité des cas, que sont parties les grandes épidémies qui, à bien des reprises, ont ravagé l'Europe.

Deux voies s'offrent au fléau pour sortir des Indes : voie de terre et voie de mer. La première passe par l'Afghanistan pour atteindre la Perse. De cette dernière, il gagne, par les bords de la mer Caspienne, le cours de la Volga, Moscou, Petrograd, puis l'Europe Centrale, ou bien il atteint la Mésopotamie, et, les pèlerinages de la Mecque lui fournissant un milieu particulièrement favorable à sa diffusion, il envahit l'Egypte, l'Afrique du Nord, après quoi la Méditerranée n'est plus pour lui qu'un obstacle facile à franchir. La voie maritime a deux points de départ : Calcutta, d'un côté, d'où l'infection atteint l'Indochine, Singapour, la Chine; et de l'autre Bombay, d'où la route est jalonnée par le golfe Persique, Bassorah, puis l'Irak, l'Asie Mineure, la Syrie, Constantinople et de nouveau la Russie et l'Europe.

La rapidité des moyens de locomotion actuels, la multiplication des communications entre les diverses

parties du globe ont encore accru le péril que fait courir au monde entier le foyer cholérique indien. En outre, après la terre et l'eau, il connaît un chemin nouveau pour essaimer au loin : l'air. Pour parer à ce triple danger, il a fallu une organisation internationale qui est aujourd'hui au point et a fait à plusieurs reprises ses preuves. Nous reviendrons tout à l'heure sur elles. Voyons, pour le moment, quelles sont les bases sur lesquelles cette défense internationale est fondée, en dehors même de cette connaissance chèrement acquise des chemins suivis par les grandes épidémies.

*
**

Passons rapidement sur les notions d'ordre strictement médical. Le bacille du choléra (ou bacille virgule de Koch) est éliminé par les déjections des malades et peut contaminer les bien portants de façon plus ou moins directe. Sa diffusion se fait, en effet, de multiples façons. Le cholérique sème autour de lui les germes dont il est porteur; ceux qui le soignent ou simplement l'approchent ont de nombreuses et diverses chances de souiller leurs mains, et, pour peu que les mesures de propreté leur soient étrangères, de ces mains le bacille passe aisément dans leur tube digestif. Le danger est d'autant plus grand que le cholérique n'est pas le seul à héberger le germe en question. On professe évidemment vis-à-vis de ce grand malade une légitime défiance. On ne fait pas de même à l'égard des convalescents, voire des gens sains qui, dans les contrées où le choléra est endémique, sont souvent habités par ce bacille, qui ne les gêne en rien, mais n'en reste pas moins virulent pour d'autres exposés à lui offrir une involontaire hospitalité. La contagion indirecte peut s'effectuer de bien des manières : par les linges salis; par les aliments, et surtout par les végétaux consommés crus; par l'eau de boisson souillée, le vibrion se conservant à merveille dans ce liquide, lequel est responsable principalement des grandes épidémies massives; par le lait, par des insectes plus récemment incriminés comme la mouche et la blatte. D'une façon générale, c'est aux fruits, aux légumes crus et à l'eau que l'on doit rapporter l'origine de la plupart des contagions, et l'on a noté depuis longtemps que les épidémies suivent fréquemment le cours des rivières.

Voici donc une première catégorie de faits sur lesquels nous avons plus ou moins de prise. Les mesures d'hygiène, en effet, ne sont pas commodes à prendre à l'égard de populations vivant dans un état plutôt primitif et dont il faudrait changer à la fois les mœurs et la mentalité. Certes, quand le fléau a atteint une de nos villes européennes, les procédés d'isolement et de désinfection entrent en ligne de compte, mais il est déjà bien tard.

Et cependant, ce qu'il faut c'est enrayer dès le début la marche d'une épidémie. On y est parvenu à de multiples reprises, car on ne doute pas que l'on n'ait eu l'occasion trop fréquente de mettre en œuvre les mesures draconiennes (en cette matière, tout est légitimé d'avance par l'intérêt général) et compliquées qui mettent obstacle à la progression du mal. N'y a-t-il pas quelque chose de grand, quelque chose de véritablement digne de l'homme et de la science, dans cette mise en état d'alerte — sur la simple réception d'un télégramme annonçant que quelques cas de choléra sont apparus sur une des routes de terre et d'eau dont nous avons parlé — d'une organisation quasi universelle, organisation de sauvegarde dont les agents appartiennent à des nations diverses, ne parlent pas la même langue, pensent rarement de façon identique, mais qui, dressés à une même discipline, exécutent au même moment la consigne concordante qui leur a été donnée? Une dépêche a couru le long des fils, et voici soudain alertés les médecins, les administrateurs de centaines de postes dans les régions les plus diverses. Le fléau a toujours de l'avance sur la défense, et la préservation est peu commode dans les environs du foyer. Les premiers filets tendus pour arrêter sa marche sont souvent tournés; mais plus loin, en seconde ligne, on veille, et ce n'est pas en vain. Si les désinfections, les isolements, les vaccinations n'ont pas réussi à localiser le mal près de son point de départ, ce sont ces postes déjà un peu éloignés qui mènent à bien la besogne indispensable. Là on attend les voyageurs venus des régions contaminées, on impose les quarantaines, on observe minutieusement ceux qui pourraient être les vecteurs des germes terribles. Et dans les ports, sur les aérodromes, les services quarantenaires accueillent à leur tour les gens qui viennent du pays maudit, les arrêtent, contrôlent leur état. Toutes les nations civilisées concourent à dresser la barrière qui empêchera le fléau d'aller plus loin, qui le limitera, le parquera et, en fin de compte, permettra de l'anéantir.

Cela se réalise plus souvent que le public ne s'en doute. J'ai conté ici même, il y a six ans, comment une épidémie de ce genre a été arrêtée qui, de Bassorah, gagnait d'un côté la Perse, de l'autre l'Irak. On y était parvenu en interdisant de façon absolue la circulation des populations dès les premiers cas constatés, et en pratiquant la vaccination anticholérique sur une large échelle. A propos de ce début d'épidémie, on a signalé pour la première fois peut-être que les passagers d'un avion qui avait quitté Bassorah le 23 juillet furent tout surpris de se voir l'objet d'une sollicitude particulière, le 24, de la part des médecins de quarantaine de l'aérodrome du Caire. Le télégraphe avait bien rempli son office : tout le monde était aux aguets. Plus récemment, en 1931, quelques cas de choléra (toujours de provenance hindoue) ayant été décelés dans le fond du golfe Persique, la surveillance des postes de protection joua dans des conditions parfaites. Voie de terre (notamment pistes d'automobiles) et voie aérienne furent l'objet d'une surveillance attentive : on exigea des certificats de vaccination des voyageurs en provenance de l'Irak, de la Perse, des examens d'excrétions furent pratiqués systématiquement, la vac-

cination imposée, et la marche du mal fut enrayée avant qu'il n'ait pu se répandre dans les pays où nous exerçons notre mandat. On pourrait multiplier ces exemples.

On a pu voir qu'à plusieurs reprises nous avons mentionné la vaccination. C'est qu'en effet, depuis une quarantaine d'années (Haffkine, 1893), nous possédons en elle un nouveau moyen de préservation sans lequel il est probable que bien des lois le fléau n'eût pas été arrêté avec la même facilité. Pendant longtemps on douta de l'efficacité du vaccin. Aujourd'hui il n'en peut plus être de même. Nous avons de nombreuses preuves qu'appliqué de façon convenable il constitue une arme de toute première valeur. On s'en est bien aperçu au cours de la grande guerre, où l'on pense bien que le choléra avait une incomparable occasion d'exercer ses ravages. Plusieurs armées, dans le Proche-Orient, furent, par ce procédé, préservées alors que l'infection avait déjà touché leurs effectifs. Ce fut surtout le cas de l'armée roumaine en 1916, grâce à l'énergique action du regretté Cantacuzène. On peut signaler également que des foyers endémiques secondaires comme celui qui existait dans les prisons de Pnom-Penh, au Cambodge, ont disparu par la même méthode, laquelle a permis encore de juguler rapidement deux épidémies menaçantes, l'une à Hanoï en 1919, l'autre à Haïphong en 1920. Et nous ne faisons état que des dangers qui nous menaçaient particulièrement. Ajoutons-y donc les services que rend la vaccination dans la lutte contre les épidémies qui esquissent une diffusion sur la voie de l'Europe ou de l'Afrique du Nord.

*
**

Le choléra est donc une des maladies épidémiques contre lesquelles nous sommes le mieux armés. On ne peut évidemment assurer que nous ne reverrons jamais le fléau dans nos contrées : il n'est pas de barrière qui ne puisse avoir un jour une fissure. Mais la multiplicité des obstacles en rend le franchissement bien difficile. La défense du monde est bien organisée, les mesures administratives bien prises, l'utilisation de tous les procédés que la science met à notre disposition bien réglée. Par-dessus tout il faut compter sur la vigilance, l'esprit d'initiative et de décision de la part des agents de la prophylaxie, qualités sans lesquelles rien ne saurait naître, ni surtout aboutir. Il convient de mettre en relief également l'entente des nations entre elles. Il est seulement regrettable qu'elles ne consentent pas à porter cet esprit de collaboration sur d'autres terrains...

On peut enfin se souvenir que la preuve a été faite à diverses reprises que si le choléra gagnait nos contrées malgré tout, il serait arrêté dès les premiers cas. On doit donc poser en principe qu'une grande épidémie de choléra comme celles que l'on a connues jadis ne doit plus jamais se produire en Europe. Profitons de l'occasion pour montrer une fois de plus aux sceptiques que la médecine a fait quelques progrès.

Tout est-il dit sur cette maladie? Non, et, malgré les études dont elle a été l'objet, elle tient en réserve quelques problèmes qui doivent nous inciter à la fois à la modestie et à de nouvelles investigations. M. Marcel Léger exposait récemment à l'institut d'hygiène de la faculté de Paris ce que nous en ignorons encore. Nous ne savons pas pourquoi certaines localités sont exposées plus que les autres à des flambées épidémiques soudaines. Ici, en effet, nous n'avons nulle raison de faire intervenir les fameux réservoirs de virus qui jouent un si grand rôle dans l'épidémiologie de quelques grandes infections comme la peste ou la fièvre récurrente. L'espèce humaine est la seule qui connaisse le choléra. Nous supposons donc que les germes se maintiennent en état de virulence dans les eaux qui desservent ces localités, nous supposons que les porteurs de germes ont une grosse responsabilité en l'affaire, que des conditions biologiques, atmosphériques, cosmiques même, interviennent, mais nous ne faisons que supposer.

Nous ignorons également comment une épidémie s'éteint subitement, spontanément, dans le pays où elle a éclaté, et ceci parfois en dehors de toute vaccination et même de toute mesure sérieuse de préservation. Devons-nous faire intervenir l'immunité naturelle de certains individus, qui ferait que tout s'arrête quand ceux qui ne possèdent pas ce privilège ont tous été frappés? Peut-être, car, quoi qu'on puisse dire, l'égalité n'est pas de ce monde, même à l'égard de la maladie. Peut-être, ai-je dit. Et cette inégalité même n'est-elle pas à elle seule un problème?

Nous ne saurons jamais tout, c'est entendu. Il semble, en tout cas, que nous sachions beaucoup en ce qui concerne le choléra. Assez, tout au moins, pour lutter efficacement contre ce redoutable fléau. Admettons comme une certitude que si la maladie de Mamaia avait été réellement le choléra, nous n'en aurions pas souffert de façon appréciable. Mais il vaut encore mieux que ç'ait été tout autre chose.

Docteur Henri Bouquet.

*
**

Un pont sur le Zambèze[1],

Les régions des grands lacs africains, Victoria, Tanganyika ont des débouchés vers la mer par Mombasa et par Dar es Salam; le Nyassaland n'a pas cet avantage : il ne tardera pas à l'avoir.

Deux faits d'une grande importance économique pour l'Afrique orientale se réalisent actuellement sur les rives du Zambèze et du lac Nyassa : l'inauguration d'un très grand pont de chemin de fer sur le Zambèze, d'une part et la prolongation de la voie ferrée actuelle jusqu'à la rive méridionale du Nyassa.

C'est par le port de Beira que l'on accède normalement au territoire du Protectorat anglais, le Nyassaland. De Beira la voie ferrée traverse la colonie portugaise de Mozambique, s'arrête au Zambèze pour

1. L.-J. Peters : In *Bull. Soc. belge d'Etudes et d'Expansion*, oct. 1934.

reprendre sur la rive opposée et se terminer, sur le territoire du Nyassa, à Blantyre, point d'aboutissement actuel des Shire Highlands Railways. C'est cette ligne de chemin de fer qui sera poussée jusqu'à Kasenga, localité située sur la rive sud du lac Nyassa. En ce point, en effet, pourrait être installé un port en eau profonde où les bateaux, assurant le service sur le lac, accosteraient à quai. Kasenga se trouvera alors à 1.287 kilomètres de l'Océan et la région du Tanganyika se trouvera à 1.866 km. de Beira si l'on comprend les 579 km. à franchir en bateau pour aborder sur la rive nord du lac.

Pour franchir le Zambèze il n'y a jusqu'à maintenant qu'un service de bateaux à aubes (sternwheelers) faisant passer le fleuve aux voyageurs et aux marchandises, d'où des pertes de temps considérables et des frais énormes de transbordement. Le trafic en ce point est d'ailleurs très important; c'est ainsi qu'en 1930 le bateau a transporté 58.875 passagers et 41.000 tonnes de marchandises.

Pour supprimer cet obstacle au large développement du Nyassaland, le Gouvernement anglais autorisa, le 17 octobre 1930, la signature d'un contrat entre les Sociétés de chemin de fer intéressées et une entreprise de construction de grands travaux (la Cleveland Bridge et Engineering Cº Ltd) fixant les modalités de réalisation du lancement d'un pont sur le Zambèze entre Séna (rive droite) et Mutarara (rive gauche). La construction de ce pont, qui sera achevée fin 1934, constituera une œuvre grandiose; il suffit de rappeler qu'il sera un des plus grands ponts du monde; il aura une longueur de 3 km. 1/2 (alors que le pont sur le Tay, en Ecosse, par exemple n'a que 3.200 m.) et comportera 32 arches. De Séna un viaduc long de 771 mètres franchit les terrains bas, fréquemment inondés qui bordent le fleuve. Le pont lui-même a des arches assez élevées au-dessus des plus hautes eaux pour permettre aux bateaux de passer sans difficulté. L'emplacement du pont ne se trouve pas au point où aboutit, sur la rive droite le chemin de fer. Il a été nécessaire de construire quarante kilomètres de voie ferrée entre Séna et le terminus actuel, Murraça.

Ce pont, commencé au début de 1931, sera vraisemblablement achevé fin 1934; sa construction devait coûter, d'après les estimations, 1.434.000 livres, y compris les quarante kilomètres de voie ferrée.

Les travaux ont nécessité la création d'une localité nouvelle, Doua Anna, à 3 kilomètres de Mutarara, peuplée de 5.000 travailleurs noirs. C'est là que sont installés les services et les habitations des ingénieurs et du personnel ouvrier : bungalow spacieux, dont les ouvertures sont munies de toile métallique pour arrêter les moustiques; ventilateurs et éclairage électrique dans tous les immeubles, bref tout ce qui peut simplifier et rendre supportable l'existence dans le centre africain; il n'est pas superflu de signaler que la compagnie chargée de la construction a pris soin de construire une fabrique de glace qui fournit au personnel de l'entreprise de la glace tous les jours; il faut avoir habité les tropiques pour comprendre la portée de pareille initiative et les répercussions heureuses qu'elle peut avoir sur l'état sanitaire général dû au mieux-être. L'approvisionnement en eau fut difficile; l'eau est pompée dans le Zambèze, purifiée dans des tanks, filtrée puis distribuée. L'alimentation en viande fraîche est assurée sur place, les légumes viennent du Nyassaland. Enfin un hôpital pour Européens et un pour Indigènes ont été construits à Doua Anna; et une lutte impitoyable contre les moustiques a été entreprise, ce qui a réduit au minimum les cas de paludisme : il n'y aurait eu aucun cas de fièvre parmi les employés venus d'Europe.

Bien que cette construction dût être effectuée en territoire portugais et dût également profiter à un port de la colonie portugaise, le Gouvernement britannique se rendit compte que les travaux à entreprendre auraient finalement pour effet de contribuer largement au développement économique du protectorat du Nyassa. Cette considération montre avec quelle hauteur de vues le Gouvernement anglais sait aborder les problèmes économiques. M. R.

§ 4. — Nécrologie.

Henri de Varigny (1855-1934).

C'est avec un profond regret que nous adressons un dernier adieu à notre collaborateur Henri de Varigny, qui vient de disparaître à l'âge de 79 ans.

C'était un savant de haute valeur, docteur ès sciences et docteur en médecine, membre de la Société de Biologie et qui sut, avec un talent reconnu de tous, tenir le public cultivé au courant des nouveautés scientifiques, parmi lesquelles il faisait à merveille la discrimination nécessaire entre celles qui avaient des chances de durée et celles qui étaient vouées à un sort éphémère. Si l'on ajoute à ces qualités primordiales du vulgarisateur l'aménité de son caractère, la franchise et la droiture de son esprit, on comprendra l'unanimité des regrets qu'a suscités sa mort. Il ne comptait que des amis dans les milieux scientifiques ou journalistiques où il fréquentait. Il était président d'honneur de l'Association de la presse de l'Institut et des Sociétés savantes.

Né à Honolulu, où son père représenta longtemps la France, il vint à Paris de bonne heure. Sa haute culture et sa connaissance approfondie de la langue anglaise lui valurent des missions du ministère de l'Instruction publique à l'étranger. Il collabora de façon suivie au *Temps*, au *Journal des Débats*, à la *Revue scientifique* et à notre *Revue générale des Sciences*. On lui doit, en outre, de nombreux ouvrages parmi lesquels il faut citer : *Charles Darwin* (1889), *Curiosités de l'histoire naturelle* (1892), *Experimental evolution* (Londres, 1892), *La Nature et la Vie* (1906), *Nouveaux éléments de physiologie humaine* (avec Langlois, 1893), *Recherches sur le nanisme expérimental* (1894) et trois volumes d'*Essais sur la mort* (1926-1929). Leur documentation riche et rigoureuse, la clarté de leur présentation leur ont assuré un grand succès.

LES FACTEURS DE LA PIGMENTATION MÉLANIQUE CHEZ LES VERTÉBRÉS

D'APRÈS LES TRAVAUX RÉCENTS

Parmi les problèmes que soulève l'étude de la pigmentation, celui des variations, rapides ou lentes, de la coloration extérieure d'un animal a sans doute le plus retenu l'attention des biologistes.

Des quantités de documents ont été accumulées en vue de sa solution, mais leur diversité même a rendu la question fort confuse.

Les travaux effectués, ces dernières années, projettent quelque lumière en montrant notamment quels sont les facteurs essentiels de la pigmentation et le mécanisme d'action de ces facteurs. Nos progrès sur ce point sont d'ailleurs fonction des progrès réalisés sur d'autres questions, telles que celles de l'endocrinologie et de la transmission humorale de l'excitation nerveuse, auxquelles, à leur tour, l'étude de la pigmentation apporte une importante contribution. Tant il est vrai que, dans les différents domaines de la biologie, les progrès que nous pouvons réaliser sont solidaires les uns des autres.

Dans cet exposé, je m'en tiendrai à la pigmentation mélanique chez les Vertébrés. L'étude des réactions bio-chimiques qui aboutissent à la production de mélanines a fait l'objet de recherches nombreuses qui ont permis de serrer d'assez près le problème de la mélanogénèse. Mais la connaissance de cette mélanogénèse n'a peut-être pas, au point de vue des variations de la pigmentation, l'importance que l'on a cru. Et je dois reconnaître moi-même, après avoir fait de la mélanogénèse le problème essentiel de la pigmentation, que les conditions du trophisme de la cellule pigmentaire et par conséquent des facteurs qui agissent sur ce trophisme représentent la question capitale.

La cellule pigmentaire mélanique ou mélanocyte doit être considérée dans ses rapports avec l'organisme entier et dans sa situation anatomique; les variations de la pigmentation et ses localisations se rattachent au même problème général.

*
**

Les mélanocytes se montrent, à des degrés divers, sensibles à l'action de facteurs variés : mécaniques, physiques, chimiques ou biologiques.

Cette sensibilité se traduit, chez les Vertébrés inférieurs, par des étalements et des contractions du pigment contenu dans les mélanocytes mésenchymateux. Ces phénomènes d'étalement et de contraction sont si importants et si rapides qu'ils peuvent déterminer, en un temps très court des changements considérables de la coloration tégumentaire. Ce sont de tels phénomènes que l'on observe par exemple chez le Caméléon où, de longue date, ils ont excité la curiosité des naturalistes.

Les mélanocytes et, d'une manière plus générale, les chromatocytes, sont également capables de présenter des phénomènes de déplacement en masse qui provoquent leur migration à travers les téguments.

Chez les Mammifères, où les mélanocytes sont rares dans le mésenchyme, on n'observe pas comme chez les Vertébrés inférieurs, de modification rapide de la coloration tégumentaire en rapport avec étalement ou contraction du pigment.

Cependant on a reconnu que les facteurs qui agissent sur les déplacements du pigment agissent en même temps sur le trophisme des cellules pigmentaires.

Les facteurs qui déterminent l'étalement et la migration des mélanocytes favorisent leur métabolisme et leur développement. Les facteurs qui provoquent leur contraction amènent progressivement leur atrophie.

Il en résulte que les facteurs qui sont la cause des brusques variations de coloration des Vertébrés inférieurs déterminent également les variations lentes de la pigmentation chez les Mammifères et les Oiseaux, par des déplacements ou par des modifications du trophisme des cellules en question.

En raison des grandes dimensions des cellules et de la facilité de l'expérimentation, c'est chez des Vertébrés inférieurs et surtout chez les Batraciens que l'on a étudié les facteurs agissant sur les mélanocytes.

Je ne passerai pas ici en revue tous les agents auxquels un rôle a été supposé [1]. Je retiendrai seulement ceux dont ce rôle doit être considéré comme essentiel d'après les travaux récents.

Dans l'organisme, deux facteurs se montrent particulièrement importants : le système nerveux et les glandes endocrines.

1. Voir, à ce sujet, mon ouvrage : *Les Pigments dans l'organisme animal.* Collection Encycl. scientif., Doin, Paris, 1926.

L'action du système nerveux sur le système pigmentaire est connue de longue date. Elle est prouvée par une série de faits. Ce sont d'abord des faits morphologiques : l'existence de nerfs des chromatocytes. Des terminaisons nerveuses au contact des cellules pigmentaires ont été décrites chez les Poissons (Ballowitz), chez la Grenouille (Sollaud) ; chez les Reptiles, on a décrit seulement des plexus nerveux dans le voisinage des chromatocytes. Mais Murisier pense qu'il n'est pas nécessaire d'imaginer un contact immédiat entre la fibre nerveuse et la cellule pour expliquer l'action de la première sur la seconde. Les plexus nerveux créent, au moment de l'excitation, « une ambiance particulière susceptible de faire varier la tension superficielle et la perméablité de la cellule pigmentaire » (Murisier). Nous verrons plus loin que cette ambiance particulière est due, très vraisemblablement, à une action neuro-humorale.

Il est connu que l'excitation des nerfs se rendant à des régions pigmentées détermine l'éclaircissement de ces régions, par la contraction des mélanocytes qui y existent. Lorsque cesse l'excitation, les cellules reviennent peu à peu à l'état d'expansion.

Les fibres nerveuses destinées aux chromatocytes peuvent emprunter deux voies. Si l'on s'adresse à la patte postérieure de la Grenouille, on voit qu'une partie au moins de ces fibres peuvent être contenues dans le sciatique. Carnot ayant sectionné une telle patte entre deux ligatures, en ne la laissant réunie au corps que par le sciatique, a vu que l'excitation de ce nerf détermine, comme normalement, la contraction des mélanocytes. Mais d'autre part, si l'on sectionne toutes les parties molles de la cuisse en ne ménageant cette fois que l'artère et la veine principales, on obtient la contraction des mélanocytes chaque fois que l'on pince l'artère ou la veine.

Ce n'est pas, comme on l'a cru d'abord, la circulation qui est en cause, ce sont les filets nerveux passant dans la paroi des vaisseaux. Si l'on détruit en effet ces filets nerveux par action locale de la chaleur chez la Grenouille en expérience, on voit aussitôt les chromatocytes, soustraits à l'action nerveuse, se mettre en expansion et le demeurer même lorsque le reste du corps s'éclaircit.

Mlle Königs, confirmant ces données, est arrivée à obtenir, par excitation des nerfs, des contractions des mélanocytes en dehors de toute action vasculaire.

Les fibres nerveuses pigmento-motrices appartiennent entièrement, selon toute vraisemblance, au système sympathique. C'est ce qui résulte de nombreuses expériences pratiquées chez les Poissons (Pouchet, Rynberk, Von Frisch), par section de la branche ventrale des nerfs spinaux au delà de leur rameau communicant. La peau devient plus sombre dans le territoire innervé par cette branche; elle demeure telle même après excitation de la moelle. Il n'y a au contraire rien de modifié si la section du nerf a été pratiquée en deçà du rameau communicant.

Par section du sympathique dans le canal hémal, chez les Poissons, on a obtenu un assombrissement consécutif de la partie du corps située en arrière de la section (Pouchet, Lode, Von Frisch).

A côté des fibres provenant ainsi du cordon sympathique, Lister pense qu'il existe également dans la peau un appareil ganglionnaire.

Cette hypothèse vient de ce que l'assombrissement consécutif à la section du sympathique n'est pas définitif, à partir de huit jours après l'opération, le territoire assombri redevient pâle et réagit à la lumière. On doit penser, comme le fait a été constaté par le tonus des vaisseaux, que ce sont des ganglions périphériques qui interviennent alors comme centres réflexes.

V. Vilter, au cours d'une série de recherches effectuées dans mon laboratoire, a bien montré les rapports entre les mélanocytes et ces terminaisons nerveuses. Ses premières observations faites sur les Batraciens ont pu être étendues aux Mammifères.

Sous l'action nerveuse sympathique, on observe la contraction des mélanocytes. Cette action sympathique devient particulièrement nette après injection *in vivo* d'adrénaline ou d'éphédrine ainsi qu'après suppression du facteur antagoniste qui est, comme nous le verrons bientôt, représenté par une hormone hypophysaire (fig. 1 B).

L'action de l'adrénaline ou de l'éphédrine s'explique en admettant que ces substances excitent les terminaisons nerveuses sympathiques. Elles sont en effet sans influence sur les mélanocytes isolés de l'organisme, par exemple dans une culture ou un fragment de peau d'axolotl. Si ce fragment est greffé à un autre axolotl et que l'on pratique une injection d'adrénaline au voisinage de la greffe, on constate que, d'abord, les mélanocytes de la peau de l'hôte se contractent seuls. Mais au bout d'une heure les mélanocytes du greffon se contractent à leur tour. Cette contraction résulte, suivant toute vraisemblance, de la diffusion vers le greffon de substances élaborées par les terminaisons nerveuses sous l'action de l'adrénaline.

La nature sympathique de la contraction des

mélanocytes est confirmée par le résultat de l'action de l'ergotamine. Inefficace *in vitro*, elle provoque en injection sous-cutanée un étalement maximal des mélanocytes, assez localisé d'abord, puis s'étendant progressivement à l'animal entier.

Après hypophysectomie, l'action du sympathique sur les mélanocytes n'est plus contre-balancée et l'on observe la contraction de ces éléments se traduisant par un éclaircissement général de l'animal (fig. 1 B). Si l'on prélève un fragment de peau de cet animal, les mélanocytes du fragment, libérés du tonus sympathique, s'étalent immédiatement. Cet étalement peut être également réalisé sur l'animal lui-même par injection de produits posthypophysaires ou d'ergotamine (fig. 1 A et 2 B).

On sait que la coloration ou l'intensité lumineuse du milieu où se trouvent certains animaux possèdent une action sur l'état des cellules pigmentaires de la peau. Il existe ainsi une sorte d'adaptation chromatique au milieu.

Par exemple, des axolotls placés sur fond clair présentent une contraction de leurs mélanocytes avec éclaircissement général. Sur fond noir on observe, au contraire, l'étalement avec assombrissement des téguments.

Ces phénomènes d'adaptation disparaissent après aveuglement de l'animal dont les téguments demeurent sombres. On a ainsi depuis très longtemps (POUCHET) reconnu le point de départ oculaire de ces phénomènes.

On a pensé que les terminaisons sympathiques recevaient une excitation à point de départ rétinien sous l'action d'une lumière blanche, d'où contraction des mélanocytes. Mais on admet plus volontiers actuellement que l'excitation rétinienne provoque une inhibition de la sécrétion posthypophysaire, d'où prévalence de l'action sympathique au niveau des mélanocytes (DIETEL). Après l'aveuglement, la sécrétion posthypophysaire se fait abondamment, déterminant l'étalement des mélanocytes. Par contre, chez un animal à la fois aveuglé et privé de son hypophyse, les téguments restent indéfiniment clairs, les mélanocytes étant contractés (fig. 2 A).

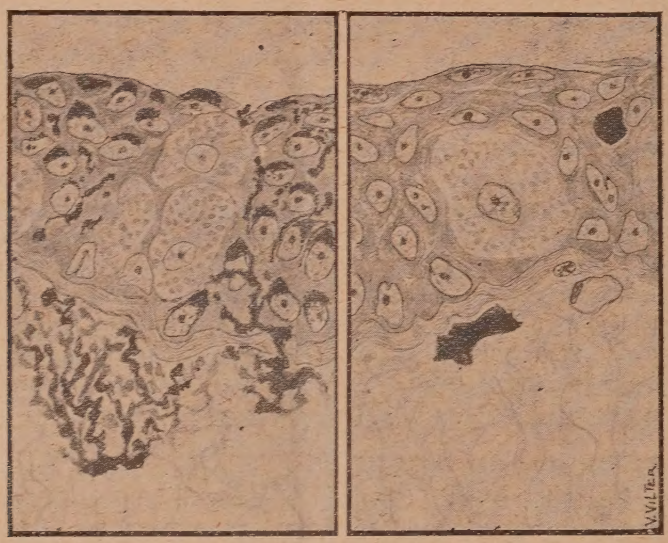


Fig. 1. — Coupes transversales de la peau d'un axolotl (Préparations de V. VILTER).
A. Greffe hypophysaire chez un animal hypophysectomisé. Les mélanocytes dermiques sont étalés au maximum. On assiste à leur passage dans l'épiderme et à la pigmentation, à leurs dépens, des cellules épithéliales. Remarquer, dans ces cellules, les calottes pigmentaires supra-nucléaires tout à fait comparables à celles que l'on observe dans l'épiderme humain.
B. Animal hypophysectomisé témoin. Contraction des mélanocytes.

Ces données, en même temps qu'elles nous ont montré l'action du sympathique, nous révèlent le rôle important que joue la sécrétion posthypophysaire dans l'étalement des cellules pigmentaires et des mélanocytes en particulier.

L'intervention de la glande pituitaire dans les phénomènes de pigmentation avait été montrée par les recherches de SMITH (1916), D'ATWELL (1919), de SWINGLE (1921), montrant que l'ablation de l'hypophyse à des têtards diminuait la quantité des mélanophores et de la mélanine.

HOUSSAY (1924) obtenait, chez les Grenouilles adultes, un pâlissement considérable des téguments par l'hypophysectomie, tandis que l'injection d'extrait d'hypophyse donnait aux animaux une coloration foncée. La sécrétion hypophysaire est, pour lui, le principal facteur de régulation de la couleur chez la Grenouille.

Ces expériences ont été maintes fois répétées et l'on a pu localiser à l'ensemble, lobe intermédiaire et lobe postérieur, la production des substances actives.

Leur rôle est bien prouvé par le fait que chez l'animal hypophysectomisé, la greffe de la glande pituitaire privée du lobe antérieur ou l'injection de substances posthypophysaires provoque à nouveau l'étalement des cellules pigmentaires (fig. 1 A).

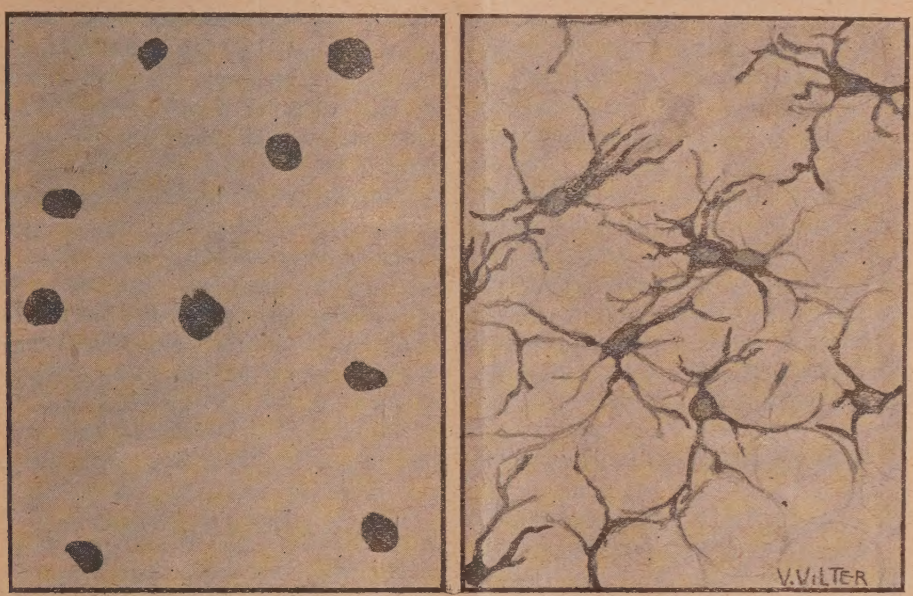


Fig. 2. — Peau d'axolotl, vue à plat. Les mélanocytes représentés sont dans l'épiderme, qu'ils ont envahi, à la suite d'un séjour de l'animal sur fond noir.

A. Chez un animal hypophysectomisé et aveuglé. Contraction des mélanocytes, par suite de la seule action du facteur sympathique dont l'influence se transmet, par voie humorale, jusque dans l'épiderme.
B. Même animal, après injection d'ergotamine. Inhibition de l'action sympathique. Etalement normal des mélanocytes.

L'étude de l'hormone qui agit sur ces éléments et que l'on appelle maintenant hormone mélanotrope est particulièrement à l'ordre du jour (F.-G. Dietel). Elle paraît élaborée par le lobe intermédiaire de l'hypophyse et se montre sans doute distincte des autres hormones extraites de la post-hypophyse. On a pu l'extraire aussi bien chez les Vertébrés inférieurs que chez les Homéothermes. Dans certaines conditions, sa sécrétion est plus abondante et elle peut apparaître dans l'urine. C'est ce que l'on observe notamment au cours de la gestation chez la femme et il est sans doute possible de trouver là une nouvelle réaction de la grossesse (Collin et Drouet, Konsuloff, Binet et Verne).

On peut ainsi conclure que, d'une manière précise, l'état des mélanocytes est la résultante de l'équilibre dynamique de deux facteurs : l'un hormonal hypophysaire agissant diffusément et provoquant l'étalement des mélanocytes, l'autre neuro-humoral, sympathique normalement lié aux localisations des terminaisons nerveuses et déterminant la contraction des mélanocytes (Vilter).

La prédominance de l'un des facteurs est suivie, selon le cas, de l'éclaircissement ou de l'assombrissement des téguments de l'animal. L'ablation de l'hypophyse rompt l'équilibre en faveur de l'action sympathique. L'aveuglement supprime le frein normalement apporté à la sécrétion hypophysaire par l'excitation rétinienne.

L'hormone mélanotrope ne paraît pas avoir seulement comme action l'étalement des mélanocytes. Cet étalement est suivi d'une augmentation des échanges de ces éléments, d'où production plus importante de mélanine. Mais on observe également une migration des mélanocytes mésenchymateux vers l'épithélium cutané qu'ils envahissent.

Vilter a montré que telle était, chez l'axolotl, l'origine de la pigmentation épidermique. Comme on peut le constater, les cellules épithéliales se pigmentent au contact des mélanocytes qui ont envahi l'épiderme (fig. 1 A).

Ainsi, sous l'action de l'hormone hypophysaire, les mélanocytes s'étalent, leur perméabilité augmente; la mélanine se forme indirectement en plus grande abondance et la pigmentation devient

plus visible extérieurement par suite de la présence de mélanine dans l'épiderme.

Ces résultats paraissent avoir une portée générale. Le double conditionnement, sympathique et hypophysaire, s'applique sans doute aux Mammifères.

VILTER a observé, chez la Lapine, après sympathectomie cervicale droite, une hyperpigmentation progressant lentement jusqu'à ce qu'une grossesse déclenchât une mélanisation rapide et prononcée, exclusivement limitée à l'oreille droite. L'hypersécrétion hypophysaire, caractéristique de la gestation, a produit son action mélanisante dans le territoire qui se trouvait soustrait au tonus sympathique.

De même la greffe de l'hypophyse détermine, chez le Cobaye, une hyperpigmentation localisée à la région soumise à l'influence du greffon.

La localisation plus spécialement épidermique des mélanocytes chez les Mammifères, les dimensions plus réduites de ces éléments font que leurs réponses aux facteurs agissant sur eux sont moins rapides et moins immédiates que chez les Batraciens.

D'autres facteurs agissent-ils sur la pigmentation mélanique?

On a soutenu, en particulier, que certains agents physiques pouvaient avoir une influence directe sur le mélanocyte. C'est une idée que reprend récemment R. MINKIEWICZ (1933), qui pense que, chez la Grenouille, la lumière aurait trois modes d'action : un premier par l'intermédiaire de la rétine, un deuxième, photodermique, par augmentation du tonus sympathique périphérique, un troisième cellulaire, par contraction du mélanocyte sous l'influence directe de la lumière.

Si l'hormone mélanotrope est la substance essentiellement active sur le mélanocyte, d'autres glandes endocrines peuvent elles également avoir une action? Nous avons vu que l'adrénaline agissait par l'intermédiaire des terminaisons sympathiques sur la contraction des cellules pigmentaires. La pigmentation de la maladie d'Addison s'explique par un affaiblissement du tonus sympathique en rapport avec une diminution de la production d'adrénaline.

Br. BLOCH a déterminé l'hyperpigmentation de la mamelle chez le Cobaye mâle castré traité par la folliculine. Ch. CHAMPY a également observé des modifications pigmentaires dans des plumes de poule par action locale de cette même hormone.

La sécrétion thyroïdienne et la thyroxine en particulier ont également une action sur la pigmentation. Par administration répétée de poudre thyroïdienne, SAINTON a obtenu le blanchiment du plumage chez des poules noires. VILTER a répété ces expériences et a également observé ce blanchiment.

Il semble que ces diverses hormones agissent indirectement en inhibant ou en excitant l'un des facteurs, hypophysaire ou sympathique.

C'est ainsi que sous l'influence de la thyroïde on observe une augmentation de la sécrétion d'adrénaline et une élévation considérable du tonus sympathique qui peut fort bien expliquer le blanchiment observé, par inhibition des phénomènes pigmentaires. Des travaux récents ont, de plus, montré que la thyroxine exerçait une sensibilisation à l'action de l'adrénaline (CANNON, BACQ).

Les recherches que je viens d'exposer montrent ainsi l'importance des facteurs hormonaux et nerveux dans les phénomènes de pigmentation et plus spécialement du facteur hypophysaire et du facteur sympathique. Ce sont ces facteurs qui permettent aux processus de la mélanogénèse de se développer ou les inhibent au contraire. La cellule pigmentaire a vraisemblablement toujours à sa disposition les matériaux nécessaires à la formation de mélanine, mais les facteurs dont nous parlons en réduisant ou en accélérant le métabolisme de cette cellule règlent, en dernière analyse, la production du pigment et sa distribution dans le temps comme dans l'espace.

Jean Verne,
Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

LE CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE A LONDRES

(2 au 6 octobre 1934).

Le grand congrès international de physique qui vient d'avoir lieu à Londres a été consacré à deux problèmes capitaux de la physique moderne : structure et propriétés des noyaux atomiques; physique du corps solide réel. Le premier est peut-être le plus jeune de la physique, le second au contraire semble avoir été étudié depuis toujours. Mais tous deux se sont développés récemment avec une grande rapidité. Chaque jour presque nous apporte des faits nouveaux, nous apprend une nouvelle propriété des noyaux ou précise nos connaissances sur les déformations non-élastiques des corps solides. Le congrès de Londres était une sorte de mise au point nécessaire, un regard en arrière avant de s'engager dans des nouvelles recherches, une sorte de bilan provisoire permettant d'établir des bases indiscutables sur lesquelles on peut bâtir. Nous allons essayer de donner ici une image abrégée de ce congrès.

I. — PHYSIQUE NUCLEAIRE

Lord Rutherford a, dans son discours d'introduction, attiré non sans quelque humour, l'attention des congressistes sur un point d'histoire important : la physique nucléaire doit son développement rapide depuis trois ans à deux progrès techniques essentiels, à la mise au point définitive de deux instruments : le compteur de Geiger qui permet d'enregistrer le passage de chaque particule individuelle à travers l'appareil [1] et la chambre de Wilson qui photographie les trajectoires de ces particules. On se sert d'ailleurs toujours d'un troisième instrument, l'électromètre, qui permet de mesurer l'ionisation globale de l'air. La combinaison de ces trois méthodes, surtout des deux premières, nous donne un grand nombre de renseignements utiles par enregistrement automatique, sans nécessiter des milliers d'expériences. C'est surtout la méthode des coïncidences (Bothe), c'est-à-dire l'enregistrement de particules traversant plusieurs compteurs à la fois et la méthode de déclanchement automatique de la chambre de Wilson au moment du passage de la particule intéressante, qui ont facilité la tâche de l'expérimentateur.

1. On savait déjà le faire pour les rayons α; Geiger et Muller y sont parvenus pour les électrons et même les photons γ.

A. — Rayons cosmiques.

Une première série de séances de physique nucléaire a été consacrée à l'étude des rayons cosmiques, c'est-à-dire des rayons d'énergie extrêmement élevée provenant de l'espace interstellaire et pénétrant jusqu'à la surface du sol.

M. Rossi (Padoue) indiqua quelques propriétés caractéristiques de ces rayons découvertes par lui-même ainsi que par d'autres auteurs. Ce qui distingue surtout les rayons cosmiques des autres rayons électriques et des photons, c'est leur grand pouvoir de pénétration. Ils traversent sans difficultés trois compteurs disposés l'un au-dessus de l'autre, en provoquant des décharges coïncidentes. Si l'on interpose entre les compteurs des écrans de plomb de différentes épaisseurs, le nombre de coïncidences diminue très rapidement au commencement, puis reste presque constant au delà d'une certaine épaisseur du plomb. Rossi a interposé jusqu'à un mètre de plomb entre chaque compteur. D'autre part il a pu prouver, que les coïncidences sont réellement dues à une même particule et non à des particules secondaires formées dans les écrans. On a donc au niveau de la mer et sur les montagnes deux groupes de rayons distincts : un groupe mou, traversant seulement quelques centimètres de plomb, et un groupe dur. Le pouvoir d'absorption des différents matériaux dépend seulement de leur densité et non de leur nombre atomique.

Un renseignement plus précis sur le groupe dur produit en dehors de notre atmosphère est fourni par l'action du champ magnétique terrestre : le calcul montre qu'à partir d'une certaine latitude magnétique ce sont seulement des particules électrisées, dont l'énergie est supérieure à une certaine limite, qui peuvent arriver jusqu'au sol. L'expérience vérifie cette prévision : il existe un *effet de latitude*. Le nombre des coïncidences décroît quand on s'approche de l'équateur et cette décroissance devient encore plus prononcée si l'on élimine les particules molles. D'autre part, comme le nombre de particules venant de l'ouest est plus grand que celui qui vient de l'est (*effet est-ouest*) surtout si l'on s'élève en altitude, on peut dire que dans la radiation dure prédominent les particules positives. Par contre les particules molles sont d'origine secondaire et se forment dans l'atmosphère. En effet aucune des particules molles observées à la hauteur de 2.400 m. ne pourrait atteindre le ni-

veau de la mer par suite de l'absorption de l'atmosphère. Celles qu'on y observe effectivement doivent donc être formées entre 0 et 2.400 m. D'autre part, si l'on dispose des compteurs l'un à côté de l'autre de façon à ne pas pouvoir être traversés par une même particule, on observe néanmoins un nombre de coïncidences assez élevé, qui ne peuvent être dues qu'à des particules projetées simultanément d'une région donnée de l'espace dans les différentes directions. Elles proviennent des *gerbes* ou « showers », observables dans des chambres Wilson et dont l'origine est encore très obscure. Le nombre des électrons positifs et négatifs qui composent ces rayons mous est à peu près le même. Il est possible que la matérialisation de l'énergie photonique joue un rôle important dans leur formation. On peut montrer que la radiation produisant ces gerbes est moins pénétrante que la radiation primaire. Son intensité croît plus rapidement avec l'altitude que celle de la radiation primaire. Les gerbes sont produites le plus souvent dans des écrans solides et leur nombre est d'autant plus grand que le nombre atomique de l'écran est plus élevé.

MM. P. Auger et Leprince-Ringuet (Paris) rapportent les résultats obtenus au cours de leur voyage du Havre (45° latitude nord) à Buenos-Aires (38° S.). Le nombre des coïncidences observées diminue quand on s'approche de l'équateur, la variation étant à peu près la même pour les rayons mous et les rayons durs. Les résultats obtenus avec des compteurs proportionnels présentent une régularité remarquable qui entraîne la conviction. En ce qui concerne l'effet azimutal (variation du nombre de coïncidences quand on incline la ligne des compteurs par rapport à la verticale), on trouve que le maximum vertical est moins prononcé à l'équateur que dans des latitudes plus élevées. Dans une communication annexe les auteurs ont montré les premiers résultats obtenus à des altitudes élevées (Jungfraujoch) avec une chambre de Wilson portative. Le nombre de gerbes observées est plus grand qu'en bas. A l'aide de compteurs, on peut établir que le nombre des gerbes est relié au nombre de rayons mous, mais pas à celui des rayons durs.

MM. A. H. Compton et Bennett (Chicago) ont étudié avec une chambre d'ionisation et un électromètre l'ionisation produite par des gerbes à différentes altitudes. Ils trouvent que le nombre d'ions produits par une gerbe est 10^9 au niveau de la mer et 7.10^9 à une altitude très élevée. L'énergie totale correspondant à une de ces gerbes est équivalente à la masse d'un atome de poids atomique 20, ce qui rend fort improbable l'hypothèse que les gerbes sont dues à des réactions nucléaires quelconques. Le nombre des gerbes augmente plus rapidement avec la hauteur que le nombre de particules primaires.

MM. I. S. Bowen, R. A. Millikan et V. Neher (Pasadena) ont étudié l'effet de la latitude à des altitudes très élevées. Comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, le champ magnétique terrestre empêche les particules chargées, dont l'énergie est inférieure à une certaine limite fonction de la latitude, d'atteindre le niveau de la mer. Or l'absorption de l'atmosphère en élimine une certaine partie, de sorte que l'effet de latitude ne se fait remarquer qu'à partir de 40° environ. Dans les couches supérieures de l'atmosphère cet effet doit être observable à des latitudes plus élevées. Une série d'expériences a été faite à une altitude d'environ 7.000 m. On n'a pas trouvé de différence notable entre 64° et 54° N.; à 41° N. et à la même altitude l'ionisation de l'air diminue de 12 % par rapport à la précédente, tandis qu'elle ne varie pas au niveau de la mer. Les observations concordantes faites à 20° N. et 4° S. montrent que l'ionisation à 7.000 m. est inférieure de 38 % à celle obtenue à 64° N. Ces résultats nous permettent de calculer l'énergie que perd une particule en traversant l'atmosphère : elle est d'environ 6.10^9 e. V., ce qui est en bon accord avec d'autres méthodes d'estimation. D'autre part il en résulte que la majeure partie des particules observables au niveau de la mer est formée dans l'atmosphère. Ces résultats sont en bon accord avec ceux qu'on obtient en comparant l'ionisation à 9.000 m. avec et sans écran. De même la comparaison des résultats des vols stratosphériques obtenus à l'aide d'électroscopes avec et sans plomb montre que la plupart des rayons cosmiques observables entre 5 et 21.000 m. ne peuvent pas atteindre le niveau de la mer.

Nous n'insistons pas sur certaines vues théoriques très intéressantes de M. Millikan sur la nature des « rayons cosmiques primaires ». Ces idées ont été discutées de façons diverses au congrès.

M. Blackett (Londres) a observé dans une chambre Wilson des particules ayant une énergie d'environ 10^{10} e. V.; malheureusement les expériences ne permettent pas encore de décider rigoureusement, si ces particules avaient des masses électroniques ou protoniques, mais on peut exclure définitivement la présence au niveau de la mer de photons pénétrants et de particules ayant des charges multiples. Par contre, aux grandes altitudes il semble nécessaire d'admettre leur présence. Il est possible que ce soient ces particules

qui sont responsables de la discontinuité de l'ionisation observée par Piccard et Cosyns dans leur vol stratosphérique.

Deux maxima d'ionisation trouvés en plongeant des appareils à de grandes profondeurs dans des lacs (250 et 500 m. d'eau) correspondent probablement à des groupes homogènes d'électrons ayant des énergies d'environ 1 et 2.10^{11} e. V.

Chaque rayon cosmique forme en moyenne 140 paires d'ions par cm^3 et cela par trois processus différents : 1° l'ionisation par choc avec les électrons des couches extérieures des atomes (environ 50 paires par cm^3); 2° les chocs avec des électrons des couches intérieures des atomes (environ 20 paires par cm^3); 3° la formation des gerbes, qui doit expliquer le reste de l'ionisation (environ 70 paires par cm^3). Les gerbes sont constituées par une grande quantité (jusqu'à 80) particules de différentes énergies, surtout des électrons positifs et négatifs. L'énergie d'une gerbe peut atteindre 3.10^9 e. V. Les traces formant une même gerbe partent d'une région peu étendue de l'espace. D'après M. Blackett ces gerbes sont produites par une radiation secondaire non ionisante, qui est absorbée par la matière plus rapidement que la radiation primaire, le pouvoir d'absorption augmentant très fortement avec le numéro atomique de l'absorbant. Elle semble constituée par des photons de grande énergie. La formation des gerbes se ferait donc en deux étapes bien distinctes : la particule primaire, probablement un positron, rencontre un noyau qui émet un ou plusieurs photons de grande énergie. Ces photons, facilement absorbables forment la radiation qui produit directement les gerbes par un processus encore obscur, probablement par matérialisation.

Ces mêmes phénomènes d'absorption ont été étudiés en détails par *MM. C. D. Anderson et S. H. Neddermeyer* (Californie). Le nombre des électrons positifs et négatifs est à peu près le même, sauf pour les très grandes énergies, pour lesquelles les positifs semblent prédominer. La statistique de distribution de l'énergie montre que la plupart des électrons possèdent une énergie comprise entre 1 et 4.10^9 e. V. 25 % seulement possèdent une énergie plus grande et 31 % une énergie plus petite. Une statistique portant sur les électrons secondaires provenant du passage des électrons très rapides à travers des écrans de plomb et de carbone a montré qu'ils sont pour la plupart des électrons négatifs possédant une énergie relativement petite. Il résulte de ces observations que le plus grand nombre des électrons secondaires observés au niveau de la mer n'est pas directement formé par les électrons primaires, mais qu'il est probablement dû à des gerbes. Trois photographies sur 2.400 présentent le phénomène de matérialisation des photons, donnant naissance à une paire d'électrons.

M. Rossi signale dans la discussion que l'effet azimutal est moins prononcé pour les particules dures que pour les particules molles. Il est donc fort improbable que celles-ci soient engendrées par les particules dures.

M. G. Hoffmann (Halle) parle d'un autre phénomène encore inexplicable. Il observe dans son ionomètre un certain nombre, très faible d'ailleurs, de décharges très intenses, qui semblent correspondre à la production brusque de 4.10^6 ions. Ce nombre est beaucoup trop élevé pour être expliqué par la formation de gerbes. Ces décharges intenses sont plus fréquentes si l'on place un écran au-dessus de l'électromètre, mais deviennent plus rares si l'épaisseur de l'écran dépasse une valeur optimum. L'existence de ces « bursts » ou « Stösse » a été confirmée par M. Compton. Là aussi de nouvelles expériences sont encore nécessaires.

B. — **Structure et propriétés des noyaux. Désintégration.**

Une seconde partie des séances a été consacrée à la théorie de constitution des noyaux. On admet en général, depuis peu de temps d'ailleurs, que le noyau est composé de deux types de particules, les protons et les neutrons. Quoiqu'on ne puisse encore rien dire de certain sur la façon dont ils sont liés, ni sur les forces d'interaction, on peut déjà néanmoins grâce aux travaux de Heisenberg, Gamow, Majorana, Fermi et d'autres établir certaines lois générales indépendantes de la loi exacte des interactions.

Ainsi *M. Gamow* (Cambridge) a déduit de considérations énergétiques générales des lois permettant d'établir les limites de stabilité des noyaux par rapport à des désintégrations de différents types. Grâce à l'analyse des rayons α et des rayons γ, il a réussi à dégager certains niveaux énergétiques des noyaux, tout à fait analogues aux niveaux des électrons dans l'atome. Dans son rapport présenté à Londres, Gamow a essayé avec quelque succès d'appliquer ses critères généraux de stabilité à la désintégration β.

Les deux autres rapports de cette série s'occupent également de la désintégration β, dont la théorie est bien moins avancée et plus difficile que celle de la désintégration α : le spectre des rayons émis par un noyau, au lieu d'être « un spectre de lignes » est essentiellement continu, avec une distribution caractéristique et, comme

on le sait depuis peu, une limite supérieure. Cette limite supérieure, comme l'a montré *M. C. D. Ellis* (Cambridge) dans son rapport, a un sens physique bien déterminé : elle représente l'énergie maximum qui peut être dégagée au cours d'une désintégration β, pendant laquelle le noyau A se trouvant sur un niveau d'excitation *a* se transforme en un noyau B dans un état d'excitation *b*. Celui-ci peut être ou bien l'état fondamental du noyau B ou l'un de ses états excités. Dans ce cas il doit se produire une émission des rayons γ, dont la fréquence nous donne la différence énergétique entre le niveau fondamental et le niveau excité. A l'aide de certaines règles de sélection indiquées par Fermi et Gamow, Ellis réussit à établir ainsi les différents niveaux des noyaux à transformation β, ce qu'on avait seulement pu faire jusqu'à présent pour les noyaux à radioactivité α. Il parvint même à préciser un schéma de 24 niveaux pour le noyau de RaC', ce qui permet de classer 58 transitions avec rayonnement γ.

La question la plus difficile qui se pose à propos de ce rayonnement c'est de savoir pourquoi toutes les particules β ne possèdent pas la même énergie, celle de la limite supérieure. Que devient l'énergie libérée par la transition et qui ne se retrouve pas dans le rayonnement? Deux hypothèses ont été proposées : N. Bohr a supposé que la loi de conservation de l'énergie n'est plus valable pour des processus nucléaires, hypothèse qui répugne actuellement à la plupart des physiciens; W. Pauli et Fermi ont proposé d'admettre l'existence et l'émission simultanée avec la particule d'une particule hypothétique, *le neutrino*. Ce serait cette particule dont la masse intrinsèque paraît être nulle ou presque, qui transporterait l'énergie qui manque à la particule β. Cette hypothèse a été précisée par F. Perrin et L. de Broglie. Malheureusement le neutrino semble avoir des propriétés qui le rendent inaccessible à l'expérience. L'émission simultanée d'une particule β (négative ou positive) et d'un neutrino, serait d'après Fermi la conséquence de la transformation d'un neutron en un proton ou vice versa.

M. G. Beck (Prague) propose dans son rapport un autre mécanisme de l'émission. D'après lui, deux électrons, l'un positif et l'autre négatif, sont toujours émis simultanément (formation de paire). L'un d'eux est capturé par le noyau immédiatement après l'émission en changeant la charge du noyau.

Quoiqu'il soit encore trop tôt pour adopter une opinion définitive, il faut signaler que la théorie de Fermi a à son actif le beau travail d'Ellis dont il a été question plus haut.

C. — Désintégration provoquée et radio-éléments artificiels.

Une dernière partie des séances de la session de physique nucléaire a été consacrée à la question de désintégration artificielle et à la création des éléments radioactifs.

Si une particule positive, c'est-à-dire un proton, ou une particule α, s'approche d'un noyau, elle est repoussée par le champ coulombien. Mais si l'énergie cinétique de la particule est suffisante, elle peut traverser cette zone de répulsion et pénétrer dans le noyau. Naturellement, l'énergie nécessaire pour vaincre la répulsion devient de plus en plus grande à mesure que le nombre atomique du noyau, c'est-à-dire sa charge, croît. Avec les énergies disponibles actuellement nous ne pouvons pas attendre raisonnablement qu'une particule chargée quelconque pénètre dans le noyau d'un atome au delà de potassium.

Examinons maintenant ce qui peut advenir à une particule, qui a réussi à pénétrer derrière la barrière de potentiel entourant le noyau.

MM. J. Chadwick et N. Feather (Cambridge) ont discuté dans leur rapport les différentes possibilités.

1° On peut s'attendre à ce que la particule passe au noyau une partie de son énergie en l'excitant et reparte ensuite, tandis que le noyau revient à son état initial en émettant un photon γ. Ce cas est l'analogie des chocs de seconde espèce ou chocs non élastiques de la physique atomique.

2° L'énergie de la particule incidente peut suffire à arracher au noyau un de ses constituants, qui est expulsé en même temps que la particule incidente ralentie. Ce cas est l'analogue de l'ionisation par chocs.

3° La particule incidente se trouve capturée dans le noyau et forme avec lui un noyau d'une masse atomique et d'une charge supérieure. L'excès de l'énergie est réémis sous forme de radiation γ.

4° La particule incidente est capturée tandis qu'une autre particule est rejetée. Le noyau ainsi formé n'a pas besoin d'être stable, il peut se stabiliser par un second acte d'émission. Sauf le troisième cas toutes les possibilités se trouvent réalisées, mais c'est le quatrième qui s'observe le plus souvent.

Les premières sources de particules chargées de grande énergie cinétique que les expérimentateurs aient eues à leur disposition furent les corps radioactifs émettant des rayons α. Lord Rutherford a trouvé, il y a quinze ans déjà, qu'on peut transformer le noyau d'azote avec émission de protons en le bombardant par des

rayons α très rapides. Plus tard, en soumettant l'aluminium au choc de particules α animées d'une vitesse de $1.92.10^9$ cm./sec., on a constaté l'émission de plusieurs groupes de protons de vitesses nettement différentes. Ce fait ne peut s'expliquer qu'en admettant que les particules incidentes se fixent à des niveaux différents : la vitesse des protons émis dépend alors essentiellement de la différence d'énergie entre ces niveaux et le niveau fondamental non excité. D'autre part en diminuant progressivement la vitesse des particules incidentes par l'interposition d'écrans de différentes épaisseurs, on a trouvé que la quantité de protons émis passe par des maxima et minima; on peut expliquer ces faits en supposant l'existence de niveaux de résonance de ces particules, qui facilitent le passage à travers la barrière de répulsion (Pose). On pourrait peut-être trouver une certaine analogie entre ces faits et l'excitation des atomes par des chocs électroniques, dans les expériences célèbres de Franck et Hertz. La désintégration des noyaux légers nous permet donc d'établir les niveaux énergétiques de ces noyaux, comme la radioactivité naturelle nous permet de le faire à l'autre extrémité du système périodique. Cette désintégration sous l'action des particules α peut être observée pour toute une série d'éléments [1] :

$$^{9}_{4}\mathrm{Be},\ ^{10}_{5}\mathrm{B}\ ^{11}_{5}\mathrm{B},\ ^{14}_{7}\mathrm{N},\ ^{19}_{9}\mathrm{F},\ \mathrm{Mg},\ ^{27}_{13}\mathrm{Al}.$$

Elle est toujours accompagnée de l'émission de protons ou des neutrons.

M. L. E. Oliphant et *M. J. D. Crockcroft* (Cambridge) parlèrent des expériences faites avec des protons de très grande vitesse obtenus par décharge dans le vide sous haute tension. Comme les protons possèdent une charge inférieure à celle des particules α, l'énergie qu'il faut leur donner pour traverser la barrière de potentiel est plus petite. Les protons peuvent être remplacés par des noyaux de l'hydrogène lourd ou deutons.

M. Oliphant travaille avec des particules relativement lentes de 20.000 e. V. A l'aide de ces projectiles de si faible énergie il réussit à décomposer le noyau $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ d'après l'équation

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} = 2\ {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{w}$$

(w = énergie dégagée par la réaction soit sous forme cinétique, soit comme rayonnement γ).

La décomposition peut être observée dans une chambre de Wilson. Si l'on suppose que les lois de conservation de l'énergie et de l'impulsion sont strictement valables, on en déduit pour $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ une masse qui s'accorde bien avec la valeur trouvée au spectrographe de masse. Cette méthode a permis de découvrir des noyaux qui étaient restés inconnus jusqu'à présent comme $^{3}_{2}\mathrm{He}$ et $^{3}_{1}\mathrm{H}$. Le premier, par exemple, se forme par bombardement de l'isotope $^{6}_{3}\mathrm{Li}$ par des protons, le second par bombardement de deutons. Dans ce dernier cas on a deux réactions simultanées :

$$(1)\qquad {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} = {}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} + \mathrm{w}_1\ ;$$

$$(2)\qquad {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} = {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \mathrm{w}_2$$

(le symbole $^{1}_{0}\mathrm{n}$ étant celui du neutron.)

Ce sont d'ailleurs ces deux réactions qui de tous les processus analogues ont le meilleur rendement.

Si l'on augmente le champ électrique le rendement augmente très fortement. Ce fait a conduit Cockcroft à travailler avec des tensions plus élevées, jusqu'à 700.000 V., mais naturellement avec des courants plus faibles. En bombardant $^{10}_{5}\mathrm{B}$ par des deutons il obtient l'isotope $^{11}_{5}\mathrm{B}$ du bore en même temps que des protons de différentes vitesses correspondant de nouveau à des niveaux différents. Les plus lents sont accompagnés de rayonnement γ. Voici l'ordre de grandeur du rendement de ces réactions : On obtient environ un proton par 6.10^7 deutons incidents sous 600.000 V. Cette valeur du rendement est une des plus élevées qu'on ait obtenues jusqu'à maintenant. La réaction peut d'ailleurs prendre un autre cours que le précédent. On trouve parfois un dégagement de neutrons et, tout récemment, on a observé que cette même réaction peut conduire à la formation d'un noyau métastable $^{11}\mathrm{C}$ qui se décompose en $^{11}_{5}\mathrm{B}$ et un positron, avec une vie moyenne d'environ 20 minutes. De ses expériences personnelles et de celles de Lawrence, Cockcroft peut déduire la hauteur de la barrière de potentiel qui doit être surmontée pour que la particule puisse pénétrer dans le noyau. Elle est d'environ 1 million de volts pour les protons et 3 millions de volts pour la particule α. Parmi les protons introduits dans le noyau il faut admettre qu'un seul sur 1.000 seulement produit une désintégration.

MM. Crane et Lauristen (Californie) ont étudié les rayons γ et les neutrons émis au cours de la désintégration artificielle. Ils trouvent que ces rayons ont une énergie déterminée et concordent bien avec le système de niveaux qu'on peut déduire des expériences de Crockcroft et Oliphant.

Entre autres ils rendirent très probable l'existence d'un niveau d'activation de 12.10^6 e. V. dans la particule α.

1. Nous désignons par l'indice placé à gauche et en haut le poids atomique, par celui placé à gauche et en bas la charge du noyau, c'est-à-dire son numéro d'ordre dans le système périodique.

D'une extrême importance théorique et pratique a été la communication de *M. et Mme Joliot*. Nous avons indiqué que, pendant la transmutation, il y a habituellement émission immédiate d'un proton ou d'un neutron ou d'une particule α. Par contre on n'avait jamais observé, il y a peu de temps encore, aucune émission d'électrons. Or, en couvrant une source très intense de polonium par une feuille mince d'aluminium, les auteurs ont observé l'apparition d'électrons positifs de grande intensité, dans un rapport environ de 1 sur 10^6 particules α incidentes. Ces électrons ne peuvent être dus ni au polonium ni à une matérialisation d'une radiation γ d'aluminium. En poursuivant leurs expériences M. et Mme Joliot ont trouvé que cette émission d'électrons positifs ne commence que quelque temps après le début de l'irradiation par les particules α et continue après que l'irradiation a déjà cessé. La « vie moyenne » de cette émission est de 3 min. 15 sec. On en déduit qu'elle est due à un noyau métastable $^{30}_{15}P$ qui se décompose en donnant un positron et un noyau stable 3 $^{30}_{14}Si$. On a pu retrouver le même phénomène en irradiant $^{10}_{5}B$ et $^{24}_{12}Mg$ par des particules α. Dans le premier cas se forme un atome $^{13}_{7}N$ qui se décompose assez lentement (durée de vie moyenne de 14 min.) pour pouvoir permettre une identification chimique, qui a complètement confirmé les hypothèses de M. et Mme Joliot. D'autres auteurs ont retrouvé le phénomène avec d'autres éléments. Il paraît être beaucoup plus général qu'on ne l'aurait pensé *a priori*. Grâce à leur durée de vie assez grande, ces éléments métastables, ou radio-éléments sont appelés à jouer un grand rôle non seulement du point de vue théorique, mais aussi du point de vue pratique, surtout en médecine, où ils pourraient remplacer dans beaucoup de cas le radium et rendre le traitement radioactif accessible aux plus pauvres.

Une autre méthode permettant de préparer des éléments métastables a été proposée par *M. Fermi* (Rome). Comme nous l'avons dit plus haut, les particules chargées doivent traverser une barrière de potentiel très élevée pour pénétrer dans le noyau. Ce potentiel augmente très vite avec la charge du noyau, ce qui limite les expériences au début du système périodique. M. Fermi évite cette difficulté en bombardant les noyaux par des neutrons, qui ne portent aucune charge et qui par conséquent n'ont pas de barrière à franchir. Comme on connait actuellement des sources puissantes de neutrons, M. Fermi a réussi à les introduire non seulement dans les noyaux des éléments légers, qui ont déjà été étudiés par M. et Mme Joliot, mais aussi dans les noyaux lourds, formant ainsi des noyaux métastables qui se décomposent lentement en noyau stable et électron (*positif ou négatif*). Ce qui est remarquable, c'est qu'on peut actuellement préparer certains radio-éléments par plusieurs voies différentes, à partir de plusieurs noyaux distincts. Les durées de vie et les propriétés chimiques sont indépendantes du mode de formation.

Une dernière méthode enfin pour provoquer la transmutation des éléments a été proposée dans la discussion par *MM. Szillard, Goldhaber et Blackett*, qui ont réussi à décomposer le glucinium et le deuton en les irradiant par des rayons γ d'énergie extrêmement grande. Ce phénomène serait en quelque sorte un analogue nucléaire de la décomposition photochimique des molécules.

Signalons simplement un exposé remarquable de *M. Born* (Cambridge) sur les modifications qu'il faut apporter aux équations de l'électromagnétisme pour rendre compte de l'existence des électrons. Ce travail est trop théorique pour être analysé davantage ici [1].

M. Magat.

(A suivre.)

1. Pour les rayons cosmiques voir l'ouvrage de P. Blackett « La radiation cosmique », qui paraîtra prochainement chez Hermann.

Pour les noyaux, voir M. et Mme Joliot, « Radioactivité artificielle » et « Eléctron positif », brochures chez Hermann, et Rapports au Congrès de Physique Solvay 1933 (sous presse chez Gauthier-Villars).

L'OXYDATION DES COMPOSÉS SULFHYDRILES [1]

Les propriétés des dérivés sulfhydriles ont été déjà exposées en France par divers auteurs (AUBEL *et* GENEVOIS 1928, WURMSER 1930)[2], *notamment au point de vue des phénomènes d'oxydation et de réduction.*

Depuis cette époque, les propriétés de ces corps ont fait l'objet de nombreuses recherches de l'école physico-chimique américaine, et nos conceptions de leur action en sont, aujourd'hui, notablement modifiées.

C'est pourquoi nous croyons utile de présenter au public français cette mise au point inédite.

Introduction.

Le mécanisme des oxydations, dont la cellule vivante est le siège, est un problème fondamental de la physiologie et de la biochimie. Les oxydations cellulaires dépendent d'un mécanisme tel que l'oxygène de l'air est capable d'oxyder les substances spontanément peu oxydables. Par exemple, le glucose en solution est relativement stable, tandis que dans la cellule il peut être oxydé avec une grande rapidité. De tels phénomènes résultent de l'action de catalyseurs, mais ces catalyseurs ne sont pas toujours immédiatement actifs (par exemple, les parois de l'estomac ne sont pas hydrolysées par la pepsine qu'elles sécrètent). Ces catalyseurs, ou enzymes, sont donc sous la dépendance d'inhibiteurs ou d'accélérateurs. Cette conception, encore obscure pour l'hydrolyse, est bien définie pour les oxydations. Par exemple : étant donné un système oxydable réversible, — où le potentiel d'oxydation est maintenu à un niveau constant, de la même façon que la concentration en ions Hydrogène l'est dans un système tamponné —, à ce niveau constant d'oxydation, certaines tendances d'oxydation se manifesteront telles que certaines substances seront toujours oxydées, d'autres jamais. La mise en évidence, dans les cellules, d'une substance facilement oxydable et dont la forme d'oxydation peut être facilement réduite, est une des plus grandes acquisitions de la biologie. Telle est la découverte par Hopkins (1921) de la banalité, dans les cellules vivantes, d'un composé sulfhydrile facilement oxydable.

Dès 1906, Mathews et Walker avaient montré que la cystéine, qui est présente dans la plupart des protéines, peut être oxydée par l'oxygène de l'atmosphère en une forme bi-moléculaire, la cystine, qui, en présence d'étain et d'acide chlorhydrique, peut être réduite en cystéine. Cependant la cystine à *p*H 7 est trop insoluble pour exister en quantité appréciable dans les tissus vivants, et, jusqu'à présent, on n'a jamais décelé la présence de cystéine exempte de protéine.

I. — GLUTATHION : Sa structure.

Hopkins a commencé ses recherches pour connaître la substance qui fait apparaître la couleur pourpre des tissus ou des extraits de tissus traités par le nitroprussiate de soude. Heffter (1908) et Arnold (1909) avaient montré la banalité des produits qui réagissent avec le nitroprussiate, produit que Hopkins a montré être un peptide contenant du soufre et capable de provoquer le dégagement d'hydrogène sulfuré en présence de soufre et des tissus. A ce produit, identique, à ce point de vue, avec celui que Rey-Pailhade avait étudié en 1888 et qu'il avait appelé « Philothion », Hopkins a donné le nom de glutathion pour rappeler qu'il contient de l'acide glutamique. Le glutathion est très largement distribué dans la nature. Il existe en quantités particulièrement grandes dans la levure, le foie des mammifères et le rein, et en moindres quantités dans le muscle, le sang, le cristallin et certains tissus végétaux (Tunnicliffe, 1925; Kozlowki, 1926; Michail et Vancea, 1928).

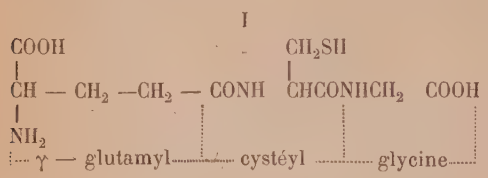
L'importance du glutathion tient à la facilité avec laquelle il s'oxyde et se réduit dans les tissus vivants. La réversibilité de ce phénomène sera discutée plus loin. L'étude de cette oxydation et de cette réduction a présenté de nombreuses difficultés : en premier lieu, la structure primitivement indiquée pour le glutathion ne correspondait pas à la réalité; cette erreur tenait, en particulier, au fait que le glutathion perd facilement de la glycine et que le résidu abandonné après désintégration de la molécule de glycine a des propriétés semblables à celles du glutathion. Ainsi : la forme oxydée du peptide obtenu par Hopkins paraissait identique au γ glutamyl-cystine obtenu de synthèse par Stewart et Tunnicliffe (1925), mais n'était pas en réalité du glutathion. Après que Hunter et Eagles (1927) eurent reconnu l'impossibilité pour les analyses d'expliquer la structure proposée pour le dipeptide, Hopkins (1929), et, indépendamment, Kendall, Mac

1. Conférence faite à la Citrus Experiment Station, Riverside, California, janvier 1934.

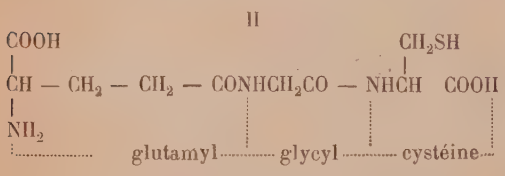
2 AUBEL et GENEVOIS : Les oxyréductions (*Revue générale de Botanique*, tome XL. 1928.
WURMSER : Oxydations et réductions (Paris, Presses universitaires, 1930).

Kenzie et Mason (1929) ont reconnu la présence de la glycine. Comme à l'ébullition dans l'eau le glutathion fournit l'anhydride de la glycylcystéine, la glycine doit être attachée à la cystéine; le traitement par l'acide azotique montre qu'elle est attachée par l'intermédiaire de son groupe NH_2 et que l'acide glutamique a son groupe amino libre. Parmi les douze formules possibles pour un tripeptide, deux seules peuvent être envisagées : γ glutamyl-cystéyl-glycine (I) et γ glutamyl-glycyl-cystéine (II).

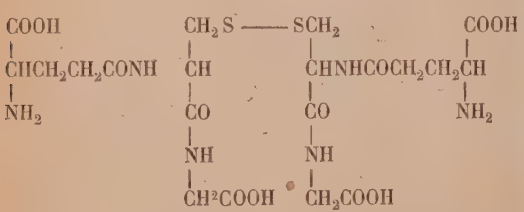
I



II



D'après les titrations électrométriques, Pirie et Pinhey (1929), ont proposé la première formule; en 1931, Nicolet, d'après la formation et la désintégration de thiohydantoines, et à la même époque, Kendall et Mac Kenzie, d'après la désintégration du tripeptide lui-même, ont expérimentalement démontré la formule I. La formule de la forme réduite du glutathion étant ainsi établie, celle de la forme oxydée se déduit de l'oxydation de deux molécules de cystéine en doublant la formule :



II. — Oxydation et réduction de la cystéine et de la cystine

Ce qui importe d'ailleurs, c'est moins la structure que les modifications de la structure moléculaire, car le principal intérêt de ces composés, cystéine ou glutathion, réside dans leur facile oxydation ou réduction qui détermine le taux des oxydations cellulaires. Nous étudierons donc ce qui est connu du mécanisme de ces oxydations et réductions, d'après trois méthodes de recherches : 1° L'action des métaux sur l'oxydation; 2° L'étude du potentiel d'oxydoréduction; 3° Le phénomène de suroxydation.

Comme ce qui est vrai de la cystéine l'est aussi du glutathion et d'une manière générale des autres acides thiol, nous envisagerons surtout la cystéine.

1) Action des métaux.

Sakuma, dans le laboratoire de Warburg (1925), a montré que l'absorption d'oxygène par les solutions de cystéine n'est pas, comme le prétendaient Mathews et Walker en 1906, une autoxydation, mais qu'elle dépend d'une catalyse par le fer. Warburg et Sakuma ont purifié la cystine au point qu'elle n'absorbait plus que très peu d'oxygène faute de fer comme impureté active.

Inhibiteurs.

L'addition de cyanure, que Mathews et Walker avaient observé inhiber l'absorption d'oxygène par les solutions de cystéine, agit donc en immobilisant les ions fer; l'ion ferrocyanure, $Fe(CN)_6$, étant si stable qu'il fixe pratiquement tous les ions Fe'' et Fe''' de la *solution*.

Oxydation résiduelle.

En l'absence complète de fer, la cystéine conserve cependant un très faible pouvoir d'absorption de l'oxygène, qui est indépendant de l'action de l'acide cyanhydrique et qui se conserve

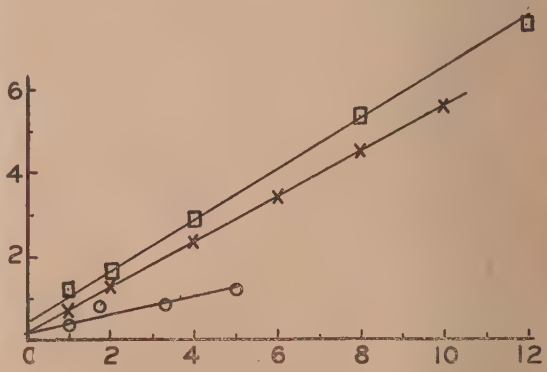


Fig. 1. — Corrélation entre *mc* 0^2 par heure et par *mg* (axe des Y) et Fe ajouté ($mg \times 10^{-4}$) (axe des X) ; X, d'après GERWE: 0, d'après SAKUMA ; □ d'après HARRISON.

après des cristallisations successives. Ces résultats, acquis par Harrison en 1924 et confirmés par Gerwe en 1931 grâce à des mesures minutieuses effectuées sur des cystéines très soigneusement purifiées et à la suite de petites additions d'ions de fer, sont résumés dans la figure 1. Sur la courbe de Gerwe, le point correspondant au zéro de consommation d'oxygène est à 0.45. 10^{-4} mgr. à la gauche de l'origine, alors que le fer représentait moins de 0.01. 10^{-4} mgr. L'oxydation ne

pouvait donc pas être catalysée par le fer. Ces résultats confirment ceux d'Harrison et Sakuma qui ont trouvé une consommation résiduelle d'oxygène plus grande que celle qui peut être attribuée aux faibles quantités de fer présentes. Comme cette oxydation n'est pas inhibée par l'acide cyanhydrique, elle ne peut pas non plus être expliquée par l'intervention d'autres métaux lourds. Le glutathion possède une oxydation résiduelle encore plus élevée et qui est aussi indépendante de l'acide cyanhydrique (Harrison 1927). Elle exigerait beaucoup plus de fer, si le fer était réellement le catalyseur, qu'il ne pourrait en exister dans la solution. Dans le cas du glutathion, Meldrum et Dixon (1930) ont montré que, non seulement le métal, mais encore une trace du produit de désintégration, cystéine ou cystéyl-glycine, doit être présent pour que l'oxygène soit absorbé en quantité appréciable. La cystéine comme le glutathion ont donc une très faible vitesse d'oxydation en l'absence de catalyseur, mais sont excessivement susceptibles à l'action catalytique de traces d'ions métalliques.

Effets catalytiques du fer et du cuivre.

Elliott, en 1930, a comparé les effets catalytiques du fer et du cuivre. Avec le fer, le taux d'absorption d'oxygène varie avec la concentration en fer jusqu'à 0,05 mgr. par c.c. Avec le cuivre, la proportionnalité cesse vers 0,001 mgr. par c.c. probablement par formation d'un complexe cuprique (très insoluble) de la cystéine qui peut être réduit en cystéine incolore (encore plus insoluble) (Harris, 1922). Les métaux palladium, or et cobalt, et les ions « SeO_3 », « SeO_4 » et « TeO_3 » catalysent aussi, plus ou moins, l'absorption d'oxygène par le glutathion réduit, mais jamais autant que le cuivre. (Voegtlin, Johnson et Rosenthal, 1931.)

2) **Potentiel d'oxydation.**

Considérant le système :

$$2\,RSH \rightarrow RS - SR + 2(H^+) + 2e$$

comme réversible, Dixon et Quastel se sont proposé de mesurer le potentiel d'oxydo-réduction de la cystéine en employant des électrodes inertes; mais au lieu d'observer un potentiel fonction des quantités de produits réduits (RSH) et oxydés (RSSR) présents dans un volume déterminé, ils observèrent un potentiel déterminé seulement par la concentration de la forme réduite. Par exemple : Quand la concentration de la cystéine augmentait par suite d'additions successives, la courbe, au lieu de montrer une forme en S, devenait asymptote à une f.é.m. d'environ 340 millivolts (voir fig. 2); l'addition de cystine reste sans

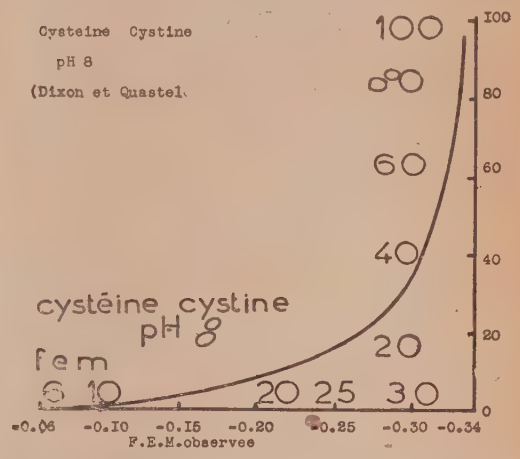


Fig. 2. — Corrélation entre °/₀ de cystéine (axe des Y) et F.E.M. (en — 0.0.M.V.) observée (axe des X) pour un systéine + cystine à *p*H 8 (DIXON et QUASTEL).

effet sur le potentiel. Les mêmes résultats s'obtiennent avec le glutathion. Le potentiel dépend

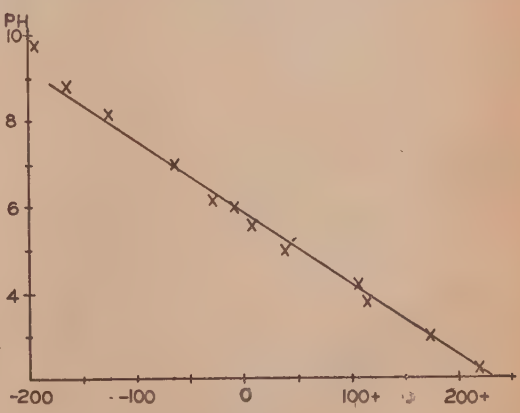


Fig. 3. — Corrélation entre le *p*H et la f.é.m. en *mv* (Eh) pour la cystéine 0,0015 M en milieux tamponnés (DIXON et QUASTEL, 1923).

aussi stictement du *p*H (fig. 3); Dixon et Quastel ont donc aussi proposé cette équation pour le potentiel :

$$E = E_0 + (RT/F)\,ln\,[H^+] - (RT/F)\,ln\,[RSH].$$

Elle diffère de l'équation qu'on aurait pu imaginer *a priori*, en ce que n'y figure pas le terme relatif à la concentration de la forme oxydée qui serait :

$$(RT/2F)\,ln\,[RSSR].$$

Les potentiels mesurés par ces chercheurs varient dans une certaine mesure avec le métal employé comme électrodes (les chiffres les plus

constants étant obtenus avec l'or); ils varient aussi avec la teneur en oxygène mais ne dépendent jamais de la forme oxydée. Michaelis et Flexner, en 1928, ont confirmé ces résultats. Par conséquent : le produit d'oxydation est certainement la cystine, qui, dans les conditions convenables, peut être réduite en cystéine, cependant il ne paraît pas exister d'équilibre réversible entre les deux. Nous discuterons cette situation singulière dans un paragraphe suivant.

3) **Suroxydation.**

En présence d'iode, l'oxydation de la cystéine dépasse généralement le stade cystine pour produire de l'acide cystéique : $HSO_3.CH_2.CHNH_2.COOH$. (Okuda, 1925).

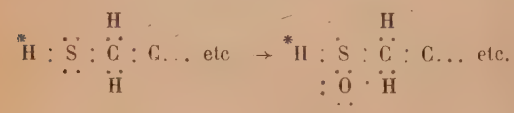
* **

Ces trois groupes de faits constituent ce que nous savons sur l'oxydation de la cystéine, du glutathion, et des autres composés sulfhydriles. La nécessité de la catalyse par métaux lourds pour que l'oxydation se produise, le fait que la cystine ou GSSG n'influence pas les potentiels d'oxydo-réduction, et la facilité de formation de produits très oxydés, restent encore difficiles à expliquer. Nous allons discuter le mécanisme véritable de ces oxydations.

III. — MÉCANISME DE L'OXYDATION

1) **Equation électro-chimique.**

La structure de la molécule de cystéine montre que l'atome de soufre présente deux paires d'électrons libres pour des liaisons covalentes; en présence d'oxygène, la réaction primaire la plus probable résulte de la fixation d'un atome d'oxygène sur l'une des paires d'électrons vacantes, pour former un sulfoxyde.



De tels sulfoxydes sont bien connus en chimie organique, car lorsque l'atome d'hydrogène marqué d'un astérisque est remplacé par un groupe alkyl ou aryl, le sulfoxyde est relativement stable. Gazdar et Smiles (1908), oxydant avec ménagement le sulfure de di-isoamyl, ont obtenu le sulfoxyde correspondant; mais par oxydation brutale au moyen d'acide azotique ou de permanganate de potasse, ils ont conduit l'oxydation jusqu'au sulfone ou à l'acide sulfonique. En employant l'eau oxygénée comme oxydant, ils obtenaient facilement le sulfoxyde à l'état de pureté $(iso\text{-}C_5H_{11})_2SO$. De même le diethoxydiphenyl- et le diaminodiphenyl-sulfoxydes, peuvent se préparer facilement à partir des sulfures, tandis que l'acide thiodiglycollique fournit aussi un sulfoxyde :

$$S\begin{<}{CH_2\,COOH}{CH_2\,COOH} + H_2O_2 \rightarrow OS\begin{<}{CH_2\,COOH}{CH_2\,COOH} + H_2O.$$

Des sulfoxydes où un seul des atomes d'hydrogène est remplacé n'ont jamais été obtenus de synthèse à cause de leur instabilité; mais ce qui nous intéresse, ce sont leurs produits de décomposition.

Si, comme on l'a suggéré, le premier produit de l'oxydation de la cystéine était le sulfoxyde, toute décomposition ultérieure pourrait se manifester selon l'un de ces deux modes :

$$(1) \qquad \overset{RSO}{H} \rightleftharpoons RSH + \frac{1}{2}O_2$$

cette réaction est réversible; l'atome de soufre perd l'oxygène additionnel et reprend la forme stable avec quatre électrons libres.

$$(2) \quad \overset{RSO}{H} + RSH \rightarrow RS - SR + H_2O.$$

Dans ce cas, l'atome de soufre reprend encore l'état à 4 électrons libres, configuration plus stable que celle où une seule paire d'électrons est libre. En langage chimique : une molécule de sulfoxyde se combine à une molécule du produit non oxydé pour former l'acide dithio qui est, soit la cystine, soit le glutathion oxydé.

De l'équation (2) nous pouvons conclure d'abord que, si la cystine se forme comme nous venons de l'indiquer, il ne peut pas exister de système réversible cystéine-cystine, ni par conséquent de potentiel d'oxydo-réduction vrai, ce qui est conforme au fait. Les potentiels observés étant toujours indépendants de la concentration en cystine, la question qui se pose est celle de la signification des potentiels qui ont été mesurés et qui semblent dépendre dans une large mesure de l'oxygène.

Importance de l'oxygène.

Si le produit d'oxydation se forme immédiatement en présence d'oxygène et s'il exerce une influence sur le potentiel, le potentiel doit dépendre de la concentration en oxygène. C'est ce qu'ont trouvé Michaelis et Flexner (1928). L'addition d'une petite quantité d'oxygène déplace immédiatement le potentiel vers le côté positif. Mais la courbe des potentiels en fonction de la tension d'oxygène est asymptote à l'axe, ce qui veut

dire que des additions de plus en plus faibles d'oxygène produisent des déplacements de plus en plus importants. On pourrait donc s'attendre à trouver le potentiel très variable dans l'azote pur à la suite d'addition de traces d'oxygène; mais ce n'est pas le cas. Le potentiel se stabilise rapidement avec des électrodes convenables. Le système doit donc comprendre une source d'oxygène qui stabilise le potentiel en dépit des variations apportées par l'introduction des traces d'oxygène dans l'azote.

Si le potentiel dépend d'un produit dont la concentration dépend elle-même de celle de l'oxygène, on doit pouvoir employer une équation du type de celle de Dixon et de Quastel en introduisant un terme pour la concentration en oxygène. En d'autres termes, toutes choses égales d'ailleurs, le potentiel doit varier comme le logarithme de la tension d'oxygène. Nous avons donc

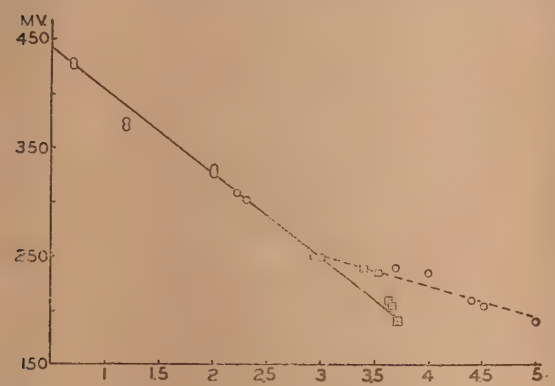


Fig. 4. — Corrélation entre F.E.M. en *mv* (axe des Y) et tension d'O^2 en $-\log_{10}$ (axe des X) recalculée d'après MICHAELIS et FLEXNER (1928) pour la cystéine 0,0002M à *p*H 4,62; O, valeurs observées (celles qui sont en dehors de la droite correspondent à des variations provoquées par l'agitation de la solution); □, valeurs calculées.

recalculé les résultats de Michaelis et de Flexner en employant les logarithmes au lieu des valeurs absolues de la concentration d'oxygène. La courbe, unissant les ronds de la figure 4, montre que, lorsque les tensions d'oxygène ne sont pas trop basses, le potentiel varie avec le logarithme de cette tension. Pour les tensions très basses, le potentiel varie au cours du passage de bulles d'oxygène et ne peut donc être mesuré. Mais comme cette valeur se stabilise dans l'azote pur, la source d'oxygène est probablement stable, même à des tensions très faibles; ce qui ne pourrait pas s'expliquer par la présence d'oxygène, comme impureté, dans l'azote qui avait été soigneusement purifié. Il faut plutôt invoquer l'oxygène dissout dans le platine ou dans les autres métaux employés comme électrodes. Si nous laissons le potentiel, observé dans l'azote, descendre selon la ligne droite de la figure 4, nous obtenons pour la concentration d'oxygène dans la solution une valeur équivalente à celle de l'oxygène dans l'électrode. Les autres points corrigés de la même façon pour la même concentration d'oxygène, sont figurés par des carrés. La variation provoquée par le passage de bulles d'oxygène étant de l'ordre de 50 millivolts, l'accord entre les points corrigés et la ligne droite correspondante, est satisfaisant.

L'oxygène se dissout dans le platine et la dissolution est peu réversible; l'oxygène se dégageant seulement au bout de plusieurs heures de chauffage à 100° sous le vide de la pompe à mercure. Butler et Armstrong, en 1933, ont trouvé qu'une électrode de platine, polarisée dans l'air comme une anode, forme une couche d'oxygène à des potentiels inférieurs à ceux qui sont nécessaires au dégagement de l'oxygène, et que cette couche d'oxygène peut être utilisée comme électrode d'oxygène pour les titrations électrométriques. La couche d'oxygène maintient constant un potentiel facile à reproduire (au même titre qu'une électrode d'hydrogène formée sur le platine). Si l'électrode est polarisée comme une cathode, même jusqu'à émission d'hydrogène à sa surface, elle retourne rapidement à un potentiel fixe d'électrode d'oxygène. Kahlenberg et French (1928) ont montré en outre que le potentiel d'une électrode métallique, dans une solution inerte diluée telle que le chlorure de potassium, dépend, dans une large mesure, de la vitesse avec laquelle on y fait dégager des bulles de gaz, oxygène ou autre. Dans la plupart des cas, il est possible d'obtenir un potentiel assez stable, grâce à la formation d'une couche d'oxygène adsorbé ou dissous dans l'électrode, et aussi d'une couche de gaz condensé à la surface de l'électrode, cette couche étant sensible au dégagement des bulles, à l'agitation, ou aux méthodes de recouvrement de l'électrode. Ces expériences montrent que, pour des tensions d'oxygène faibles, la formation ou la destruction du film gazeux modifie profondément le potentiel mais que, quand le film est convenablement formé, le potentiel varie régulièrement avec le logarithme de la tension d'oxygène; c'est-à-dire qu'il est déterminé par une fonction de la tension d'oxygène. Ce potentiel, par conséquent, dépend en réalité de la formation d'un produit d'oxydation. C'est ce que confirment Michaelis et Barron (1929) : soit le mercure, soit le platine, qui sont deux des trois métaux utilisables comme électrodes pour la détermination du potentiel des systèmes sulfhydriles, catalysent tous les deux l'oxydation de la cystéine à leur surface. Cette catalyse n'est pas due aux ions métalliques mais à un véritable effet de surface, et se produit seulement dans l'oxy-

gène. A la surface de ces électrodes il se forme donc, dès le début de l'expérience, une petite quantité du produit oxydé, et comme sa stabilité est faible, sa concentration n'augmente jamais avec l'oxydation croissante du composé SH, mais reste en équilibre avec la tension d'oxygène. Le produit d'oxydation n'est donc pas de la cystine, ni un composé SS, mais c'est un produit d'oxydation primaire du sulfhydrile qui est probablement le sulfoxyde (1).

Un autre mécanisme a été envisagé par Barron, Flexner et Michaelis (1929) : comme le mercure peut se dissoudre dans la cystéine en présence d'oxygène, le potentiel peut être celui du système cystéine-cystéinate de mercure (RS_2 Hg). Nous réfuterons cette hypothèse pour trois raisons : 1° Parce que le platine et le mercure donnent avec la cystéine le même potentiel, alors qu'ils n'ont probablement pas la même tendance à se dissoudre sous forme de complexes; 2° Parce que les potentiels observés sont faciles à reproduire, ce qui exigerait que l'oxydation accidentelle soit la même dans toutes les expériences; 3° Parce que, lorsqu'on fait passer des bulles d'azote contenant de l'oxygène, il devrait y avoir une oxydation graduelle et une dissolution progressive du métal à mesure qu'il se forme du complexe. Cependant en faisant passer un courant dans une solution de cystéine, au moyen d'électrodes de mercure, Green (1933) a provoqué la formation d'un complexe, et la modification des électrodes de mercure.

L'hypothèse d'un intermédiaire instable dans l'oxydation a été envisagée, en particulier par Dixon et Quastel. La concentration du composé instable est constante, sous une pression d'oxygène déterminée, non à cause de la saturation de la solution (comme le postulaient Michaelis et Flexner, 1928) mais parce qu'elle est fonction de la tension d'oxygène. Kendall et Nord (1926), confirmant que la cystine n'a pas d'effets sur le potentiel, considéraient le sulfone, RSO_2H, comme l'intermédiaire. Mais les sulfones sont généralement stables, et s'il est facile de les oxyder jusqu'au stade acide sulfonique, il paraît peu aisé d'obtenir leur réduction ou leur conversion en composé SS.

Même si toutes les considérations précédentes sont correctes, il reste difficile d'écrire l'équation électrochimique de l'oxydation. Quoiqu'elle n'ait rien à faire avec l'équation de Dixon et Quastel, elle ne peut pas non plus avoir la forme suivante :

$$RSH + H_2O \rightarrow RSHO + 2H^+ + 2e$$

car la pente de la courbe de la f.é.m. en fonction du pH a une valeur de 0,059 volts (voir fig. 3), ce qui montre qu'il n'y a qu'un ion hydrogène transporté pour chaque molécule de cystéine qui est oxydée. Tout ce qu'on peut dire de l'équation (3), c'est qu'elle doit être voisine de la vérité.

Les potentiels que Williams et Drissen (1930) et Ghosh (1932) prétendaient représenter un système réversible SH et SS, résultent de la formation de complexes avec le mercure de l'électrode (Green, 1933).

2) Le sulfoxyde considéré comme produit primaire de l'oxydation.

a) Rôle des complexes organométalliques.

Après les considérations électrométriques, envisageons le point de vue chimique, c'est-à-dire, après l'énergétique de la réaction, considérons la réaction elle-même. Le sulfoxyde nous paraît devoir représenter le produit primaire de l'oxydation.

Considérons l'effet catalytique des métaux. Les équations (1) et (2) exigent que, à moins que le sulfoxyde ne se combine avec la cystéine, il doive se redécomposer. Pour que l'oxygène soit absorbé en quantité appréciable, il doit exister un mécanisme qui rapproche une molécule de sulfoxyde et une molécule de cystéine. Par conséquent, les agents capables de mettre ces deux substances en contact provoqueront l'oxydation. C'est ce que font les métaux lourds capables de former des complexes. En général, les complexes comprennent deux ou trois molécules de l'amino-acide ou du thio-acide, et si l'un d'eux est de la forme sulfoxyde, la combinaison se produira. D'autre part, si le métal employé change facilement de valence, il peut jouer le rôle de vecteur (Michaelis, 1929). Les métaux qui forment facilement des complexes sont donc des catalyseurs d'oxydation. Le fer et le cuivre, qui ont des capacités exceptionnelles pour la formation de complexes, sont tous deux des catalyseurs extrêmement actifs (Warburg et Sakuma, 1923; Elvehjem, 1930; Elliott, 1930).

b) Inhibiteurs de la catalyse. Les ions H.

L'activité de la catalyse dépend de la formation de complexes; le fait a reçu une confirmation indirecte : Schöbert (1931-1932) a montré, qu'en solution très acide, l'activité catalytique diminue au point de disparaître. Or, Borsook et Thimann (1932) ont montré que la formation de complexes, entre la glycine ou l'alanine et le cuivre,

dépend d'un appauvrissement de l'amino-acide en ions H; si donc la concentration de la solution en ions H est assez élevée pour empêcher la dissociation des ions Hydrogène de l'amino-acide, la formation du complexe est impossible. Pour la glycine, cette formation de complexe est empêchée pour un *p*H inférieur à 1,0; Schöberl a confirmé que dans une solution 0.17N HCl, l'absorption d'oxygène par la cystéine est très réduite, même en présence de fer et de cuivre. Elvehjem (1930) a expliqué la diminution d'activité catalytique, lorsqu'augmente l'acidité des solutions de cystéine, par la formation d'un complexe de cuivre très stable en solution acide. Mais cette explication est fausse puisque la formation du complexe est inhibée en solution acide.

c) **Complexes stables.**

D'ailleurs, l'addition d'ions formant avec le fer ou le cuivre des complexes plus stables que ne le fait la cystéine, immobilise le métal, et par conséquent inhibe la catalyse. Dans le cas de cyanures la valeur de ces complexes d'instabilité pour les cupricyanures et cupriglycine sont :

$$\frac{(Cu^{++})\,(CN')^4}{(''Cu\,(CN)_4)} = \text{environ } 10^{-16};$$

$$\frac{(Cu^{++})\,(NH_2CH_2COO')^2}{(Cu\,(NH_2CH_2COO)_2)} = \text{environ } 10^{-5}.$$

Par conséquent le complexe cyanure est beaucoup plus stable que le complexe glycine et même que le complexe cystéine.

Pour qu'un complexe puisse favoriser l'oxydation il faut que la forme oxydée RSSR se sépare immédiatement du métal pour le laisser libre de poursuivre son action. Michaelis a étudié un cas intéressant où ceci ne se produit pas : l'addition de sel de cobalt à des solutions de cystéine provoque la formation d'un complexe stable partiellement oxydé.

$$Co' + 3\,RSH \rightarrow Co''(RSH)_3 \xrightarrow{\frac{1}{2}O_2} Co''(RSSR)\,(RSH) + H_2O$$

Le complexe cobalt cystéine-cystine est stable et par conséquent coupe le circuit avant que l'oxydation ne parvienne au stade cystine. Un catalyseur, pour être efficace, doit aussi permettre à la forme oxydée RSSR de se dissocier aisément. Bien entendu, il doit aussi mettre en jeu plus d'une molécule d'amino-acide par atome de métal, et, autant que possible, un nombre pair, ce qui leur permet d'être oxydées et déplacées par paire.

3) **Formation de composés stables par suroxydation.**

Le troisième mode de décomposition possible du sulfoxyde est par une oxydation plus complète :

$$RSHO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow RSO_2H \xrightarrow{\frac{1}{2}O_2} RSO_3H;$$

(4)

La réaction est complète quand toutes les paires d'électrons, vacantes dans l'atome de soufre, sont occupées. La réaction est comparable à la formation de perchlorate, à partir de chlorate ou de chlorite, la configuration la plus stable étant celle dans laquelle toutes les places sont occupées. Il se forme alors de l'acide cystéique, soit directement, soit progressivement, par exemple, quand des agents d'oxydation, tels que l'iode, sont ajoutés à la solution de cystéine. Si la cystéine est ajoutée à l'iode, il se forme plus d'acide cystéique que lorsque les solutions sont ajoutées l'une à l'autre dans l'ordre inverse (Dowler, 1928); ce qui s'explique : en présence d'une petite quantité d'agents oxydants et d'un excès de cystéine, le sulfoxyde peut se combiner avec une autre molécule de cystéine pour produire de la cystine, tandis qu'en présence d'un excès d'agents oxydants, il sera suroxydé selon l'équation (4) avant de pouvoir se combiner avec une autre molécule. Pour des concentrations très élevées de cystéine, la consommation d'iode supplémentaire exigée pour la formation d'acide cystéique deviendrait presque nulle; elle augmente régulièrement avec la dilution (Bierich et Kalle, 1928) et devient quantitative dans des conditions convenables (Shinohara 1932).

L'intermédiaire dont la formule vient d'être donnée devrait être stable, mais ne pourrait guère se convertir en cystine. Il ne peut guère, d'ailleurs, occuper une position intermédiaire dans la formation de la cystine, mais il peut être un intermédiaire au cours de la formation de l'acide cystéique. D'une solution où se forme l'acide cystéique, Simonsen (1933) a isolé, quand il y a eu quatre atomes d'iode consommés, un composé capable d'absorber encore deux atomes d'iode. C'est ce que pourrait faire l'acide sulfinique. Toennies et Lavine (1933) ont observé un disulfone du même type, capable d'oxydation ou de réduc-

tion lorsque de la cystine se forme en solution non aqueuse.

L'action de l'eau oxygénée sur la cystéine, en solution acide, ne produit que de la cystine à l'exclusion de l'acide cystéique, c'est-à-dire qu'elle ne dépasse pas le stade sulfoxyde (Piric, 1931); ceci est conforme à l'action de l'eau oxygénée sur les sulfures de dibenzyle et les autres sulfures en solution acide, qui aboutit à la formation de sulfoxyde et non de sulfone (Gazdar et Smiles, 1908; Hinsberg, 1908). C'est là un nouvel argument en faveur du mécanisme d'oxydation des composés sulfhydriles par l'intermédiaire de sulfoxyde.

Une dernière réaction des acides thiol appartient à ce troisième mode de décomposition : c'est la conversion des composés dithio, RSSR, en mélange d'acide monothio, RSH, et d'acide sulfonique, RSO_3H, sous l'action des sels des métaux lourds. Cette réaction a été découverte par Vickery et Leavenworth (1930), pour les sels d'argent.

$$3\,RSSR + 3\,Ag_2SO_4 + 3\,H_2O \rightarrow 5\,RSAg + RSO_3Ag + H_2SO_4.$$

Elle a été étudiée pour plusieurs métaux par Preisler (1930-1932); quand on emploie le cuivre, l'ion cuprique se réduit en ion cupreux, avec une augmentation correspondante du rendement en acide sulfonique. Le reste de la réaction est identique à celle de l'argent. Cette modification curieuse est comparable à celle que Hinsberg a observée (1903) : l'acide benzène-sulfinique, $C_6H_5SO_2H$, réagit avec le phénol pour donner un composé oxydé, l'acide benzène-sulfonique, et un composé réduit, le sulfure 3-hydroxydiphenyl. L'acide sulfinique se convertit donc, ou simplement se comporte comme un mélange d'acide sulfonique et de sulfoxyde; ce dernier, étant un mono-sulfoxyde, est instable, et réagit avec le phénol pour donner $C_6H_5SC_6H_4OH$ et de l'eau. Remarquons avec Miller et Smiles (1925), que les disulfoxydes existent non pas sous la forme R.SO.SO.R, comme le supposaient Hinsberg (1908-1909) et Fries (1914), mais sous la forme $R.S.SO_2.R$. La liaison S-S se brise facilement pour se reformer ou non, en présence d'agents réducteurs. L'ensemble de ces trois faits suggère pour la réaction la formule suivante :

$$R-S.S-R + 2Ag_2O \rightarrow R-SO.SO-R \rightarrow R-S.SO_2-R$$

$$\xrightarrow{H_2O} RSH + RSO_3H$$

$$2\,R-S.S-R + 4 \downarrow Ag \rightarrow 4\,RSAG$$

Finalement

$$RSH \text{ et } RSO_3H + Ag_2O \rightarrow RSAg \text{ et } RSO_3Ag$$

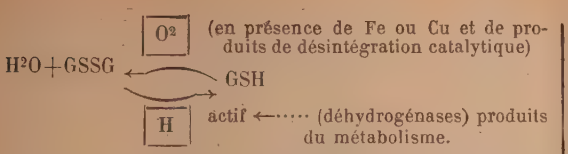
Dans un premier stade, le disulfure est transformé en disulfoxyde de la même manière que s'oxydent les composés mono-thiol. Le disulfoxyde existe ou se transforme par tautomérie en thiosulfonate qui peut subir une réaction du type de celle de Hinsberg. L'oxydation du disulfoxyde est concomitante d'une réduction du disulfure en un sel d'argent du composé mono-thiol. Le rôle du métal n'est pas élucidé; mais il semble que cette réaction soit une suroxydation, et que l'atome de soufre, ayant acquis un atome d'oxygène, subit des réactions qui lui permettent immédiatement, soit de perdre cet oxygène, soit d'en capturer davantage. Cette conception est à la base de toutes les théories précédentes. Au cours de sa condensation avec le chlorure sulfonique de naphthalène le glutathion GSSG a une tendance marquée à l'oxydation plus complète, pour former un disulfoxyde capable, soit de s'oxyder encore, soit d'être réduit (Saunders 1933).

IV. — Role de l'oxydo-réduction dans le métabolisme cellulaire

L'importance de l'oxydation de la cystéine, du glutathion, ou d'une façon générale, des composés sulfhydriles, est évidente :

a) *Rôle du glutathion dans les oxydations et les réductions cellulaires.*

L'hypothèse initiale, d'après laquelle le glutathion agirait simplement en réglant le potentiel d'oxydo-réduction, doit être modifiée du fait que le système, ainsi que nous l'avons montré, n'est pas vraiment réversible, du moins par lui-même. Néanmoins le glutathion est facilement oxydé ou réduit par les tissus. L'addition de glutathion oxydé à du foie ou à du muscle broyé, accélère la réduction du bleu de méthylène par les enzymes de ces tissus. Tunnicliffe (1925) a ainsi montré que le glutathion est d'abord réduit, et que le GSH produit réduit le bleu de méthylène, la réaction couplée ayant une vitesse supérieure à celle de la simple réduction du bleu de méthylène. Hopkins et Elliott (1930), en oxygénant du foie broyé, ont montré que le glutathion réduit, GSH, y est facilement oxydé, quoique dans le premier stade il puisse être réduit plus rapidement qu'il est oxydé. La réduction initiale est plus rapide dans le foie des animaux bien nourris, que dans celui des animaux ayant jeûné; c'est-à-dire qu'elle augmente avec la quantité d'hydrogène disponible. Enfin, si on ajoute du GSSG, il se réduit partiellement, ce qui montre que le tissu de foie contient assez d'hydrogène pour réduire plus que le glutathion qu'il contient déjà. Le système peut se représenter par l'équation suivante :



La présence du glutathion rend donc possible une sorte de respiration. Mais cette respiration ne peut être responsable que d'un faible pourcentage de la consommation totale de l'oxygène par les foies en survie. Elle ne peut jouer qu'un rôle minime dans la respiration normale. Il est d'ailleurs remarquable qu'aucun des systèmes connus de déhydrogénase, tels que ceux des acides succiniques ou de la purine, ne puisse réduire GSSG en présence de son support. Les enzymes que mettent en jeu ces réductions sont donc encore inconnus.

[H. S. Reed et J. Dufrénoy (1934) ont attiré l'attention sur le Zinc, capable de former des complexes organo-métalliques, et qui paraît jouer un rôle essentiel dans la différenciation ou le fonctionnement des chloroplastes; R. W. Thatcher (1934) considérait Mn et Fe, Cu et Zn comme « deux paires de catalyseurs mutuellement coordonnés pour les oxydo-réductions : Mn et Fe jouant un rôle dans les réactions biologiques du type de celles que mettent en œuvre l'hémoglobine ou la chlorophylle et qui utilisent l'énergie provenant de l'addition ou du transfert d'O^2; Cu et Zn, dans celles dont l'énergie provient d'un gain ou d'une perte d'H; ce rôle du Cuivre et du Zinc, comme catalyseurs antagonistes dans les échanges d'H a été récemment mis en lumière par la démonstration de leurs effets antagonistes sur l'oxydation ou la réduction du glutathion et de l'acide ascorbique » (Note du traducteur)].

b) *Les groupes sulfhydriles comme stimulants ou « hormones » de la division cellulaire.*

Hammett (1929-1933) prétendait que les groupes sulfhydriles excitaient la division cellulaire; et Rapkine (1931), interprète l'augmentation de la richesse en groupes sulfhydriles, au moment de la division cellulaire dans les œufs, comme une preuve de leur action stimulante sur le métabolisme hydro-carboné, et par conséquent, sur la division cellulaire. White (1933) trouvait que NaSH stimule la croissance des extrémités de racines excisées mises en culture. Mais les résultats de Hammett n'ont pu être confirmés, ni par Morgulis et Green (1932), ni par Ellis (1933).

c) *Rôle de la cystéine et du glutathion dans la fermentation des sucres par la levure.*

Ces composés exagèrent la fermentation aérobie, et diminuent la respiration (Quastel et Wheatley, 1932). D'après Lohmann (1932) le glutathion joue le rôle de co-enzyme pour la glyoxalase qui est l'une des enzymes du système de la zymase. Mais le vrai rôle des composés sulfhydriles dans les fermentations, est complexe (Schroeder, Woodward et Platt, 1933); l'acide iodoacétique inactive le système enzyme en se combinant directement avec le glutathion pour former un thioéther avec libération de HI (Dickens, 1933; Michaelis et Schubert, 1934).

d) *Le groupe disulfure est essentiel pour l'activité de l'insuline.*

L'hydrogène sulfuré, la cystéine, l'acide thioglycollique ou thiolactique, inactivent l'insuline; le composé SH ajouté étant oxydé, et le groupe SS de l'insuline étant réduit (Wintersteiner, 1933).

e) *Activation de la papaïne et de la kathepsine par les agents réducteurs, comme résultat de la réduction des groupes SS de l'enzyme.*

Ce cas est l'inverse de celui de l'insuline. La réduction peut être produite seulement par un mélange de l'acide succinique et de sa déhydrogénase ou par HCN, H_2S, par les sulfites ou par l'addition de groupes SH. Elle peut se produire aussi sous l'influence de la lumière ultra-violette qui, étant capable de transformer la cystine en cystéine, doit être aussi capable de réduire les groupes SS de la molécule de l'enzyme. Le fait que la protéinase de la levure est aussi activée, montre que le phénomène doit être général. En l'absence complète d'activateurs surajoutés, les groupes SH des protéines suffisent à provoquer une activation appréciable; car les groupes SS d'une protéine peuvent être réduits par les groupes SH, en un composé simple. En d'autres termes, il y a gain d'énergie quand la protéine est sous forme SH et que le composé simple est oxydé. Il est aussi remarquable que, tandis que les composés β-sulfhydriles jouent le rôle d'activant, les composés simples α-sulfhydriles, tels que les acides thioglycolliques et thiolactiques, paraissent être des inhibiteurs de l'enzyme.

f) *Effet des groupes sulfhydriles sur l'arginase.*

L'activation de l'arginase avait d'abord été considérée comme un simple phénomène de réduction provoqué par les composés sulfhydriles ou par l'hydrate d'hydrazine. Mais, tandis que Edlbacher, Kraus et Walter (1932) invoquent une inhibition de l'arginase par les groupes sulfhydriles, Klein et Ziese (1933), ont trouvé que la cystéine, le glutathion ou l'hydrogène sulfuré inhibent fortement l'arginase purifiée, alors que l'enzyme non purifiée est au contraire activée par suite d'un phénomène de réduction. Il est probable que l'effet essentiel de l'addition de composé SH, sur l'enzyme pure, est d'immobiliser les métaux, car dans tous les cas, les mélanges d'arginase avec du fer ou du cuivre sont activés par la cystéine.

g) *Activation de l'amylase par le glutathion et la cystéine.*

Le glutathion représente probablement le complément de la levure découvert par Pringsheim (1923). Les groupes sulfhydriles semblent agir quel que soit leur état d'oxydation.

Kenneth V. Thimann,
(California Institute of Technology, Pasadena).

Traduit par J. DUFRÉNOY.

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie n'a pas les prétentions de citer tous les travaux relatifs aux composés sulfhydriles. Les publications relatives aux méthodes de détermination ont été omises. Pour les séries de publications, ou lorsque de nombreux chercheurs ont publié sur la même question, nous ne citons que la publication la plus importante ou celle qui comporte une bonne bibliographie. Les sujets traités ont été indiqués par des chiffres romains selon la classification suivante :

I. Chimie du glutathion.
II. Sulfoxydes et acides sulfoniques ; mécanismes d'oxydation.
III. Détermination électro-métrique.
IV. Catalyse par les métaux et formation des complexes organo-métalliques.
V. Distribution et rôle des composés sulfhydriles en biologie.

1. ARNOLD, V. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **70**, 300 et 314, 1910. V
2. BERSIN, T. and LOGEMANN, W. : *Liebig's Ann.*, **505**, 1, 1933. IV
2 *b*. BERSIN, T. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **222**, 177, 1933. V
3. BIERICH, R. and KALLE, K. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **175**, 115, 1928. II
4. BORSOOK, H. and THIMANN K. V. : *J. Biol. Chem.*, **98**, 671, 1932 IV
5. BUTLER, J. A. V. and ARMSTONG, G. : *Proc, Roy. Soc. A.*, **137**, 604, 1932. III
6. BUTLER, J. A. V. and ARMSTRONG, G. : *Trans. Faraday Soc.*, **29**, 698, 1933. III
7. DICKENS, F. : *Nature*, **131**, 130, 1933. *Bioch. J.*, **27**, 1141, 1933. V
8. DIXON, M. and QUASTEL, J. H. : *J. Chem. Soc.*, **123**, 2943, 1923. III
9 DOWLER, V. B. : *J. Biol. Chem.*, **78**, Proceedings. XXXVIII, 1928. II
10. EDLBACHER, S., KRAUSS, J. and WALTER, G. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **206**, 65, 1932. V
11. ELLIOT, K. A. C. : *Biochem. J.*, **24**, 310, 1930. IV
12. ELLIS, E. L. : *J. Cell. and Comp. Physiol.*, **4**, 127, 1933. V
13. ELVEHJEM, A. : *Biochem. J.*. **24**, 415, 1930. IV
14. EULER, H. V. and MARTIUS, C. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **222**, 65, 1933. V
15. FRIES, K. : *Ber*, **47**, 1195, 1914. II
16. GAZDAR, M. and SMILES, S. : *J. Chem. Soc.*, **93**, 1833, 1908. II
17. GERWE, E. G. : *J. Biol. Chem.*, **92**, 399 and 525, 1931. IV
18. GHOSH, J. C., RAYCHAUDHOVI, S. N. and GANGULI, S. C. : *J. Indian Chem. Soc.*, **9**, 43 1932. III
19. GRASSMANN, W. : in Nord and Weidenhagen, *Ergebn. d. Enzym Forschung*, Leipsic, 1932, **1**, 217. V
20. GREEN, D. E. : *Bioch. J.*, **27**, 678, 1933. III
21. HAMMET, F. S. : *Protoplasma*, **7**, 297, 1929. V
21 *b*. HAMMETT, F. S. : *Protoplasma*, **13**, 331, 1931 (Further references cited in these papers). V
22. HAMMETT, D. W. and HAMMET, F. S. : *Protoplasma*, **15**, 59, 1932. V
23. HAMMET, F. S. : *Protoplasma*, **20**, 161, 1933. V
24. HARRIS, L. J. : *Biochem. J.*, **16**, 1922. IV
25. HARRISON, D. C. : *Biochem J.*, **18**, 1009, 1924. IV
26. HARRISON, D. C. : *Biochem. J.*, **21**, 335, 1927. IV
27. HEFFTER : *Med. Naturwiss. Arch.*, **1**, 81, 1908. V
28. HINSBERG, O. : *Ber.*, **36**, 107, 1903. II
29. HINSBERG, O. : *Ber.*, **41**, 2838, 1908. II
30. HINSBERG, O. ; *Ber.*, **42**, 1278, 1909 II
31. HOPKINS, Sir F. G. : *Biochem. J.*, **15**, 286, 1921. I
32. HOPKINS, Sir F. G. : *J. Biol. Chem.*, **84**, 269, 1929. I
32 *a*. HOPKINS, Sir F. G. and ELLIOT, K. A. C : *Proc. Roy. Soc. B.*, 109, 58, 1931. II, V
33. HUNTER, G. and EAGLES, B. A. : *J. Biol. Chem.*, **72**, 147, 1927. I
34. JOHNSON, J M. and VOEGTLIN, C. : *J. Biol. Chem.*, **75**, 703, 1927. I
35. KAHLENBERG, L. and FRENCH, S. J. : *Trans. Am. Electrochem. Soc.*, **54**, 163, 1928. II
36. KENDALL E. C., MCKENSIE, B. F. and MASON, H. L. : *J. Biol. Chem.*, **84**, 657, 1929. I
37. KENDALL, E. C., MASON, H. L. and MCKENSIE, B. F. : *J. Biol. Chem.*, **88**, 409, 1930. I
38. KENDALL, E. C. and NORD, F. F. ; *J. Biol. Chem.*, **69**, 295, 1926. III
39. KLEIN, G. and ZIESE, W. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **213**, 201, 1932. V
40. KLEIN, G. and ZIESE, W. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **222**, 187, 1933. V
41. KOZLOWSKI, A. : *Biochem. J.*, **20**, 1346, 1926. V
41 *a*. LOHMANN, K. : *Biochem. Zeit.*, **254**, 322, 1932. V
42. MASCHMANN, E. and HELMERT, E. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **216**, 141, 1933. V
43. MASCHMANN, E. and HELMERT, E. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **219**, 99, 1933. V
44. MASCHMANN, E. and HELMERT, E. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **222**, 207 and 215, 1933. V
45. MATHEWS, A. P. and WALKER : *J. Biol. Chem.*, **6**, 21 and 29, 1906. IV
46. MAXTED, E. B. and HASSID, N. J. : *Trans. Faraday Soc.*, **29**, 698, 1933. III
46. *a*. MELDRUM, N. U. and DIXON, M. : *Biochem. J.*, **24**, 1421, 1930. I, IV
47. MICHAELIS, L. and FLEXNER, L. B. : *J. Biol. Chem.*, **79**, 689, 1928. III
48. MICHAELIS, L. and BARRON, E. S. G. : *J. Biol. Chem.*, **81**, 29 et 743, 1929. III
49. MICHAELIS, L. and YAMAGUCHI, S. : *J. Biol. Chem.*, **83**, 367, 1929. IV
49 *b*. MICHAELIS, L. *J. Biol. Chem.*, **84**, 777, 1929.
50. MICHAELIS, L. et SCHUBERT, M. P. : *Biol. Chem.*, **106**, 331, 1934. V
51. MICHAIL, D., and VANCEA, P. : *Compt. rend. Soc. Biol.*, **99**, 891, 1928. V
52. MILLER, C. J. and SMILES, S. : *J. Chem. Soc.*, **127**, 224, 1925. II
53. MORGULIS, S. and GREEN, D. E. : *Protoplasma*, **14**, 161, 1932. V
54. NICOLET, B. H. : *Science*, **71**, 589, 1930. I
55. NICOLET, B. H. : *J. Biol. Chem.*, **88**, 389, 1930. I
56. OKUDA, Y. : *J. Biochem. Japan.*, **5**, 201, 1925. II
57. PAILHADE, DE REY : *Compt. rend.*, **106**, 1683, 1888. V
58. PAILHADE, DE REY : *Compt. rend.*, **107**, 43, 1888. V
59. PIRIE, N. W. and PINHEY, K. G. : *J. Biol. Chem.*, **84**, 321, 1929. I
60. PIRIE, N. W. : *Biochem. J.*, **25**, 1565, 1931. IV
61. PREISLER, P. W. and PREISLER, D. B. : *J. Biol. Chem.*, **89**, 631, 1930. II, IV
62. PREISLER, P. W. and PREISLER, D. B. : *J. Am. Chem. Soc.*, **54**, 2984, 1932. II. IV
63 PRESLER, P. W. and PREISLER, D. B. *J. Biol. Chem.*, **95**, 181, 1932. II, IV
64. PRINGSHEIM, H. *Ber.*, **56**, 1762, 1923. V

65. Pringsheim, H. Borchardt, H. H. : *Biochem. Zeit.* **238**, 476, 1931. V
66. Pringsheim, H. Borchardt, H. ; and Hupfer, *Biochem. Zeit.*, **250**, 109, 1932. V
67. Quastel, J. H. and Wheatley, A. H. and Hupfer M. : *Biochem. J.*, **26**, 2169, 1932. V
68. Sakuma, S. : *Biochem. Zeit.*, **142**, 68, 1923. IV
69. Salaskin, S. and Solowjew, L. : *Zeit. Physiol Chem.*, **200** 259, 1931. V
70. Salaskin, S. and Solowjew, L. : *Zeit. Physiol.-Chem.*, **205**, 171, 1932. V
71. Saunders, B. C. : *Biochem J.*, **27**, 397, 1933. II
72. Schöberl, A. : *Ber.*, **64**, 546, 1931. IV
73. Schöberl, A. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **201**, 167, 1931. IV
74. Schöberl, A. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **209**, 231, 1932. IV
75. Schröder, E. F., Woodward, G. E. and Platte, M. E. : *J. Biol. Chem.*, **101**, 133, 1933. I, V
76. Shinohara, K. : *J. Biol. Chem.*, **96**, 285, 1932. II
77. Shinohara, K. : *J. Biol. Chem.*, **97**, *Proceedings*, xxii, 1932. II
78. Simonsen, D. G. : *J. Biol. Chem.*, **101**, 35, 1933. II
79. Smiles, S. and Gibson, D. T. : *J. Chem. Soc.*, **125**,176, 1924. II
80. Stewart, C. and Tunnicliffe, H. : *Biochem. J.*, **19**, 207, 1925. I
81. Szendrö, P. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **217**, 33, 1933. II, V
82. Szendrö P., Lampert, V. and Wrede, F. : *Zeit. Physiol. Chem.*, **222**, 16, 1933. II, V
82 *b*. Tunnicliffe, H. : *Biochem. J.*, **19**, 194 et 199, 1925. V
83. Vickery, H. : B. and Leavenworth, C. S. : *J. Biol. Chem.*, **86**, 129, 1930. II, IV
84. Voegtlin, C., Johnson, J. M. and Rosenthal, S. M. : *J. Biol. Chem.*, **93**, 435, 1931. IV
85. Warburg, O. and Sakuma, S. : *Pflüger's Archiv.*, **200**, 203, 1923. IV
86. White, P. R. : *Protoplasma*, **19**, 132, 1933. V
87. Williams, J. W. and Drissen, E. M. : *J. Biol. Chem.* **87**, 441, 1930. III
88. Wintersteiner, O. : *J. Biol. Chem.*, **102**, 473, 1393. V

BIBLIOGRAPHIE

ANALYSES ET INDEX

1° Sciences mathématiques.

Davis (Harold T.). — **Tables of the higher mathematical functions.** — 1 *vol. in-8° carré, relié, de 377 pages, Principia Press, Bloomington (Ind.), Etats-Unis, 1934. (Sans indic. de prix.)*

Les tables numériques, si fort en honneur au XVIIIe siècle, négligées au siècle suivant, où les mathématiques pures prirent le pas sur les mathématiques appliquées, reviennent en honneur, et ce n'est pas nous qui nous en plaindrons.

Ce volume contient des tables étendues concernant la fonction *gamma* et sa dérivée logarithmique, la fonction *psi*, avec deux figures représentant les allures de ces deux fonctions.

Les tables de la fonction *gamma* ne font pas double emploi avec les tables, si connues, de F.-J. Duarte, qui se rapportent aux valeurs entières de la variable. Les tables de H.-T. Davis concernent en effet les valeurs fractionnaires de la variable, de 1 à 101 et de 1 à — 10. Il en est de même pour la fonction Ψ. Selon les valeurs de la variable, 10 à 20 décimales sont données. L'auteur donne aussi les logarithmes de ces nombres.

Ces Tables vont d'ailleurs au delà des seules données numériques.

Des chapitres très étudiés, des bibliographies très étendues, abordent les questions algébriques qui se posent au sujet des fonctions *gamma* et *psi*.

Plus généralement, les instruments de calcul modernes, du théorème de Taylor à l'interpolation, trouvent place dans les considérations générales qui précèdent ces Tables numériques.

R. de Montessus de Ballore.

*
**

Delens (P.). — **Exposés de géométrie. La métrique angulaire des espaces de Finsler.** — 1 *fascicule de 39 pages. Hermann, éditeur. — Actualités scientifiques et industrielles*, n° 80.

Un espace de Finsler est conçu comme espace d'éléments linéaires à connexion euclidienne; la métrique proprement dite détermine une métrique angulaire et l'étude la plus simple des propriétés angulaires est relative aux directions des éléments issus d'un même point.

Dans ce travail l'auteur se place au point de vue local le plus strict et l'étude en cause se trouve ramenée à celle d'une annexe de la géométrie projective.

La forme différentielle qui traduit la métrique angulaire n'est, pour un espace de Finsler, que le premier terme d'une suite de formes invariantes jouissant de propriétés directionnelles analogues.

M. Delens indique plusieurs procédés de recherches de ces formes et leurs expressions les plus remarquables et précise l'interprétation des formes invariantes dans le cadre des géométries différentielles. On remarquera l'importance des conditions d'homogénéité et certains aspects curieux des propriétés des formes homogènes.

L. P.

*
**

Potron (Abbé). — **Exercices de calcul différentiel et intégral.** — 1 *vol. in-4° de 43 pages. Librairie Hermann, Paris, 1934. (Prix : 10 fr.).*

M. l'Abbé Potron rend un service éminent aux étudiants en publiant les solutions des problèmes

posés au certificat de Calcul différentiel et intégral, dans les facultés de France, en juin-juillet 1934.

On lui sera reconnaissant d'avoir distrait de ses études personnelles le temps d'étudier ces problèmes, et qui plus est, de les classer, par parties, dans les différents chapitres de l'Analyse mathématique.

C'est un très bel outil de travail pour les candidats futurs au certificat de Calcul différentiel et intégral, et pour les étudiants en mathématiques en général.

R. de Montessus de Ballore.

***

Potron (Abbé). — **Sur l'intégrale de différentielle binôme.** — 1 *broch. in-4° de 16 p. Gauthier-Villlars, Paris*, 1934. (*Prix : 40 fr.*). (*Extrait du* Journal de l'Ecole Polytechnique).

En quelques pages est *complètement* exposée la démonstration d'un théorème énoncé *sans preuve* par tous les auteurs *classiques*, à savoir : *En dehors des trois cas ordinaires d'intégralité, l'intégrale de différentielle binome est irréductible aux transcendantes élémentaires.*

Le § I est consacré à exposer, avec quelques simplifications, la démonstration d'un théorème dû à Liouville : *Si l'intégrale* $\int y\,dx$, y *étant une fonction algébrique de* x, *est réductible aux transcendantes élémentaires, on a*

$$\int y dx = R_0(x, y) + \Sigma a_b \log R_0(x, y),$$

les a *étant des coefficients constants, et les* R *des fonctions rationnelles.*

Dans le § II, il est montré que, si $y\,dx$ est une différentielle binôme « non intégrable », la formule de Liouville est impossible. Le procédé de démonstration, très simple, consiste à développer en série les deux membres de la formule par rapport à une variable auxiliaire.

Ces démonstrations ne font intervenir aucune notion étrangère au programme du Certificat de *Calcul différentiel et intégral*, sauf, au § I, une propriété des équations algébriques. Le § II permet d'ailleurs, *sans faire appel au théorème de Liouville*, d'établir un résultat *partiel*, mais déjà intéressant : *Une différentielle binôme « non intégrale » ne peut être rendue rationnelle par aucun changement de variable algébrique.*

R. de Montessus de Ballore.

***

Antoniadi (E.-M.). — **La planète Mercure.** — 1 *vol. gr. in-8° de 76 pages, avec 36 fig. et plusieurs héliogravures. Gauthier-Villars*, 1934 (*Prix : 18 fr.*).

L'auteur continue ses monographies excellentes des planètes. Après la planète Mars, c'est Mercure, qui est l'objet de son attention.

Passons sur ce que nous savons des mouvements de cette planète, au point de vue de la mécanique céleste, pour ne retenir que sa description physique, d'après les résulttats obtenus par M. Antoniadi avec la grande lunette de l'observatoire de Meudon, une des meilleures du monde. Malheureusement l'état constamment agité de l'atmosphère, la proximité relative du Soleil, rendent bien rares les heures et même les minutes où l'observation est possible.

Ce qui présente le plus d'intérêt, est le fait, à peu près démontré, que Mercure tourne sur lui-même exactement dans le même temps que sa révolution. Personnellement, nous ne serions pas éloigné de croire que s'il tournait rapidement sur lui-même, comme la Terre et Mars, il ne saurait être en position d'équilibre relativement à lui-même.

Quant à sa géographie, elle ne peut être qu'assez rudimentaire, comme le montre la figure du frontispice de l'ouvrage, avec plus de particularités cependant que n'en connaissait Schiaparelli (fig. 10).

Les conditions d'existence des êtres organisés ne paraissent pas être remplies sur Mercure, où la température dépasserait largement 100° centigrades (p. 63), et la pression barométrique serait très faible. Mercure est un désert, dans le sens le plus absolu du mot, son atmosphère ne renfermant probablement ni vapeur d'eau, ni oxygène...

R. de Montessus de Ballore.

2° Sciences physiques.

Dipole Moments (Moments de dipole). — *Discussion générale tenue à la Faraday Society, sept.* 1934. — 1 *vol. relié de 325 p. (Prix : 21 sh.). The Faraday Society, éd., 13, South Square, Gray's Inn, Londres, W. C.* 1.

Les discussions de la Faraday Society au Congrès de septembre ont porté sur l'importante question des moments de dipole, à laquelle s'attachent principalement le nom de Debye et ceux de ses élèves. Cette question joue actuellement un rôle primordial aussi bien en physique pure qu'en chimie-physique et à ce titre la Faraday Society a été particulièrement bien inspirée en nous en fournissant un exposé complet, aussi actuel et aussi circonstancié que possible. Cet exposé est formé de la juxtaposition des Rapports originaux dus à des spécialistes et des discussions d'ensemble auxquelles ces rapports ont donné lieu, suivant l'heureux usage établi depuis longtemps pour cette sorte de Congrès. Les rapports ont été classés en trois groupes : I. Rapports de la constante diélectrique et du moment de dipole (Debye, Bretscher, Errera et Sack). II. Détermination des moments de dipole (van Arkel, Williams, Müller, Sugden, Jenkins, Smith, Martin, Girard). III. Interprétation des moments de dipole (Rodebush, Sutton, Sidgwick, Zahn, Lennard-Jones, Bennett, Fairbrothey, Hassel, Hampson, Shutt, Sutterland, etc.).

Un grand nombre de problèmes généraux et d'exemples particuliers se trouvent traités d'une façon éminemment instructive, et leur portée est encore accrue par les intéressantes discussions auxquelles ils ont donné lieu. Le lecteur français trouvera ici un

abondant choix de questions vraiment modernes que notre enseignement lui laisse trop souvent ignorer. Une table complète des moments de dipole, avec bibliographie, et données numériques, ajoute encore à la valeur pratique de l'ouvrage.

L. B.

*
**

Meyer (Charles-F.). — **The diffraction of light, X rays and material particles (Diffraction de la lumière, des rayons X et des particules matérielles).** — 1 *vol.* 472 *p. The University of Chicago Press, ed., Chicago,* 1934. (*Prix, relié :* 5 $.)

Le titre même de cet ouvrage indique bien nettement l'esprit dans lequel il a été conçu. Il s'agit de présenter sur le même plan général les phénomènes de diffraction pris dans leur ensemble, qu'il s'agisse de la diffraction de la lumière telle qu'elle est analysée depuis longtemps par l'Optique classique, de la diffraction des rayons X qui est, elle aussi, un cas particulier de diffraction d'ondes périodiques, ou encore du phénomène récent découvert par Davisson et Germer, la diffraction des particules matérielles, laquelle représente d'après la mécanique ondulatoire une diffraction d'ondes d'une espèce nouvelle, les ondes de de Broglie. Ces divers domaines sont généralement étudiés séparément, souvent dans des Traités sans lien les uns avec les autres. Il était important d'avoir un exposé systématique où les analogies étroites des trois types de diffraction soient bien mises en relief, et M. Meyer était mieux désigné que tout autre pour faire cet exposé. L'enseignement qu'il donne à l'Université de Michigan lui a permis de comprendre ce que l'étudiant et le physicien sont en droit d'exiger dans ce domaine, et le livre qu'il publie aujourd'hui est essentiellement la mise au point de cet enseignement, avec les corrections et additions requises par le sujet lui-même. Aussi y trouvera-t-on pratiquement tous les renseignements dont on peut avoir besoin soit en Spectroscopie, soit en Radiographie, tant au point de vue de la technique instrumentale qu'au point de vue de la théorie même des phénomènes. A cet égard le livre de M. Meyer rendra les plus grands services aussi bien à l'étudiant attaché aux principes qu'au physicien spécialisé, désireux de trouver sous forme condensée les formules et descriptions dont il peut avoir à se servir.

Après un premier chapitre de caractère historique (Newton, Young, Fresnel, etc.), l'ouvrage traite successivement dans deux chapitres fort bien composés de la méthode des zones de Fresnel et de la méthode de Cornu. Suivent deux chapitres de description des principaux phénomènes de diffraction relevant de la théorie de Fresnel et de celle de Fraunhofer. Ces chapitres sont débarrassés de tous calculs encombrants et d'une lecture très instructive pour le débutant. Un des chapitres les plus importants et les plus détaillés du livre est celui qui traite du réseau de diffraction, plan ou concave, tant au point de vue théorique qu'au point de vue des montages, avec une étude approfondie des imperfections de tracé et de leurs conséquences. Les applications au pouvoir séparateur, à la diffusion, à la théorie des franges d'interférence, sont rassemblées dans un chapitre spécial, plein de digressions instructives. Le problème de la diffraction des rayons X est traité en grand détail depuis la découverte de Laue et les recherches de Bragg jusqu'à la description des techniques spectrographiques les plus modernes. Enfin le chapitre terminal sur la diffraction des électrons, des atomes, des molécules et des ions nous fait prendre contact avec les problèmes les plus actuels de la physique théorique et constitue une excellente introduction à l'étude de la mécanique quantique. Des appendices et des tableaux divers complètent l'intérêt et facilitent l'utilisation du livre qui se présente sous une forme très soignée et est orné de nombreuses figures.

L. B.

*
**

Kuhn (H.). — **Atomspektren.** — 1 *vol. de* 265 *pages. Akademische Verlagsgesellschaft, éd., Leipzig,* 1934. (*Prix, relié :* 26 *RM.*)

Le livre de M. Kuhn fait partie de la grande encyclopédie dont la publication a été entreprise par l'Akademische Verlagsgesellschaft de Leipzig sous la direction de A. Eucken et K.-L. Wolf et sous le titre « Hand und Jahrbuch der chemischen Physik ». Il était évident qu'un Traité de cette importance devait consacrer un certain nombre de ses volumes à la Spectroscopie, qui est aujourd'hui l'outil de travail le plus précieux du physicien comme du chimiste. La production des spectres et leurs relations avec la structure de la matière font précisément l'objet du tome IX du Traité, dont le présent volume constitue le premier fascicule. Il s'agit exclusivement dans ce fascicule des spectres atomiques, et bien que l'auteur se soit créé une juste notoriété dans d'autres domaines de la Spectroscopie, par exemple dans l'étude des spectres de bandes, il s'est volontairement limité ici à la description et à l'analyse des spectres de raies, dont la connaissance conditionne tout le reste.

On peut dire que dans ce domaine il nous fournit un exposé remarquablement complet et immédiatement utilisable de tout ce qui est véritablement fondamental. Sa tâche s'est trouvée évidemment facilitée par l'existence des exposés classiques, mais aujourd'hui déjà un peu démodés, de Hund, de Grotrian, de Laporte, etc. Il a su faire une synthèse tout à fait cohérente de ces exposés en y ajoutant beaucoup de résultats nouveaux et en amalgamant toujours la partie théorique et la partie descriptive de façon à en marquer l'étroite connexion. On peut dire qu'il a réussi à faire un Traité de Spectroscopie atomique répondant parfaitement à l'état actuel de nos connaissances.

Un premier chapitre, de caractère purement expé-

rimental, nous initie à l'étude instrumentale des spectres, depuis le domaine visible jusqu'à l'ultraviolet et jusque dans la région de Röntgen. Des indications rapides mais précises sont données sur la mesure des spectres, leur attribution, leurs différents modes de production (absorption, émission, etc.). Les lois empiriques simples qui président à la formation des séries sont établies dans le cas des atômes légers et rattachées au principe de combinaison ainsi qu'à la loi du déplacement spectroscopique.

Avant d'aborder les problèmes théoriques par les méthodes modernes de la Mécanique ondulatoire, M. Kuhn rappelle comment ces problèmes se posent dans l'ancienne théorie de Bohr, à laquelle la Mécanique quantique n'apporte que plus de correction et de rigueur. La théorie des états stationnaires et les règles de sélection sont traitées successivement par les deux méthodes, et le lecteur peut toucher du doigt le progrès accompli en passant des idées de Sommerfeld à celles de Schrödinger.

Suivant l'excellent exemple de Grotrian, M. Kuhn, avant de passer à l'étude des spectres les plus généraux, expose en grand détail les spectres simples des alcalins et des alcalino-terreux. Dans ces cas relativement faciles on comprend bien le rôle assigné au spin de l'électron dans la formation des multiplicités et dans l'effet Zeeman. C'est seulement après une rapide revue du système périodique et des spectres de rayons X, à la lumière du principe de Pauli, que l'auteur arrive aux atomes compliqués et aux structures à électrons nombreux. Les problèmes nouveaux qui se soulèvent à cette occasion (différences de couplage, termes négatifs, perturbations et autoionisation) sont traités sans calculs inutiles, mais avec une précision remarquable. La notion de multiplet normal est éclaircie par des exemples très bien choisis.

Dans un dernier chapitre, M. Kuhn fait l'étude des raies spectrales isolées, et des variations qu'elles peuvent présenter sous les influences les plus diverses. C'est dans ce chapitre que prend place naturellement l'étude de la structure hyperfine, fondée sur le spin nucléaire et sur le déplacement isotopique. La largeur naturelle des raies, telle qu'elle est influencée par l'effet Doppler, par la pression, par l'amortissement propre, etc., fait aussi l'objet d'une analyse détaillée qui peut suggérer maintes recherches. Enfin les bandes exceptionnellement fines et semblables à des raies que présentent certains cristaux de terres rares et certains liquides sont signalées tout spécialement et on montre l'intérêt physico-chimique qui s'attache à leur étude.

L'ouvrage se termine par quelques tables, parfaitement bien dressées où l'on trouve les données spectroscopiques les plus importantes pour le physicien comme pour le chimiste (termes fondamentaux et potentiels d'ionisation), le rappel des notations quantiques essentielles et une courte bibliographie des travaux spectroscopiques les plus récents. Si nous ajoutons que le livre contient 78 figures très soignées et que sa présentation est claire et élégante, nous aurons donné au lecteur français une idée assez exacte de cette belle publication. L. B.

3° Sciences naturelles.

Guiton (Paul). — **De la Meije au Viso** (Briançonnais, Ubaye, Queyras). — 1 *vol. in-8° carré de 148 p., avec de nombreuses héliogravures et une carte (sans indication de prix). B. Arthaud, à Grenoble,* 1934.

Benoist (Général). — **L'Aviation de montagne** (Etude alpine). — 1 *vol. in-8° carré de 129 pages, avec de nombreuses hélio gravures (sans indication de prix). B. Arthaud, à Grenoble,* 1934.

I. On peut se placer, pour cet ouvrage, au point de vue de l'art, qui ne sera pas le nôtre, mais sera celui de nombreux lecteurs, séduits par les magnifiques illustrations répandues à profusion, et au point de vue du géologue, du géographe, de l'ethnographe. La documentation du texte et des illustrations abonde en ce sens : le feuilleter seulement apprend plus au lecteur, s'il est besoin, que de nombreuses études sur des textes parfois ingrats.

II. Nous ferions les mêmes remarques à propos du volume du général Benoist, qui, lui, a le souci de désigner au lecteur les noms géographiques des cimes, des cols, des héliogravures, par des repérages placés en marge et fort bien compris. Mais ici, le texte se rapporte à l'aviation de montagne, où l'homme, remarque l'auteur, se sent dominé par une volonté souveraine : les escarpements, le climat, l'astreignent à se plier à certaines règles auxquelles il ne peut se soustraire. Ici, l'atmosphère, soumise au contact des lits de torrents, des névés, des glaciers, ou du sol surchauffé par le soleil, présente des différences extrêmes de température qui engendrent un chaos indescriptible de courants violents, de remous, de puits d'air, de tourbillons aspirants ou refoulants : ennemis nés de l'aviateur.

L'étude de l'atmosphère et des terrains permet d'établir des principes, bases de méthodes de vol spéciales, d'amélioration de matériel, qui, sans supprimer le risque spécial de la montagne, l'atténuent et enseignent à en surmonter les résistances.

L'aviation de montagne n'a pas seulement des buts militaires : elle concerne aussi le développement des transports, des ravitaillements urgents, des échanges postaux; elle touche à la géodésie, à la cartographie de régions souvent inaccessibles. On sait en effet combien le survol des Alpes, leur simple traversée même, est difficile.

C'est dire l'intérêt du livre que nous avons sous les yeux, et son actualité.

J. B. M.

ACADÉMIES ET SOCIÉTÉS SAVANTES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS

Séance du 13 Août 1934.

Louis de Broglie : L'équation d'ondes du photon. — **A. C. Mukherji** : Sur les fonctions continues possédant un ensemble parfait partout discontinu de singularités. — **Georges Allard** : Méthode générale de statistique applicable à des groupes de particules indiscernables. — **M. Jacob** et **J. Bikerman** : Sur la vitesse de l'établissement de potentiel. — Mme **Lucie Lefebvre** : Sur la suppression de certaines bandes du spectre de l'ozone sous l'action du froid. — **Radu Titeica** : Spectres d'absorption et de fluorescence de quelques hydrocarbures à deux noyaux benzéniques. — **Jean Bouchard** : Influence de la viscosité sur la décroissance du pouvoir fluorescent des solutions de certaines matières colorantes en fonction de la concentration. — **Camille Lefebvre** et **Maurice Rangier** : Oxydation du soufre organique appliquée à son dosage. — **Louis Montlaur** : Le climat et les besoins physiques de la plante. Moyen de les comparer. — **B. S. Levin** et **C. Piffault** : Variations observées à la suite d'injections sous-cutanées de lécithine colloïdale chez le cobaye, dans la radiorésistance de ses hématies *in vitro*.

Séance du 20 Août 1934.

Maurice d'Ocagne : Sur une équation indéterminée d'ordre quelconque. — **Camille Gutton**, **Jean Galle**, et **Henri Joigny** : Sur la réflexion des ondes radiotélégraphiques dans la haute atmosphère. — **Georges Giraud** : Nouveaux résultats relatifs aux intégrales principales d'ordre quelconque. — **Gh. Th. Gheorghiu** : Sur les fonctions métasphériques. — Mlle **M. Pernot** : Sur le système chlorure mercurique, chlorure de potassium et alcool éthylique. — **Vasilesco Karpen** : Passage du courant dans les électrolytes sans électrolyse. — **Raymond Quelet** : Sur une nouvelle méthode de synthèse des alcoxy (α-hydroxyéthyl-) benzènes et des éthers-oxydes correspondants. — **P. Lavialle** et **P. Jaeger** : Cytologie et particularités nucléaires du grain de pollen des Dipsacées. — **Henri Hermann**, **Georges Morin** et **Joanny Vial** : Modifications de la pression artérielle au cours et après la destruction progressive de la moelle épinière chez le Chien. — **Georges Bourguignon** : Variation de la chronaxie d'un muscle pendant la contraction volontaire de ses antagonistes chez l'homme normal. — **Robert Ranjard** : Contribution à la physiologie du développement de l'audition par les sons fondamentaux des voyelles. — **Marcel Baudouin** : Monstruosité double très rare ; un chat thoradelphe. — **Tchijevsky** et **Voynard** : Le vieillissement de l'organisme retardé moyennant l'inspiration d'air ionisé négativement.

Séance du 27 Août 1934.

Louis Blaringhem : La température des fleurs. — **Emile Mathias** : Sur les foudres globulaires bleues. — **Hans Schwerdtfeger** : Sur les racines caractéristiques des matrices de formes linéaires. — **Y. Why Fschen** : Remarque concernant la solution du problème mixte relatif à l'équation $\Delta u - 1/\omega^2 u_{tt} = 0$ pour $\omega \to \infty$. — **Rolf Nevanlinna** : Sur la mesure harmonique des ensembles de points. — **Edgar Odell Lovett** : Sur le problème de Bertrand pour certaines courbes qui généralisent les coniques. — **Charles Platrier** : Transformation isotherme infiniment petite du milieu matériel homogène le plus général. — **Miroslav Nenadovitch** : Contribution à la théorie des ailes sustentatrices. — **Pierre Lejay** : Anomalies de la gravité dans le sud de l'Indochine. — **Albert Pérard** et **Miroslav Romanowski** : Nouvelles comparaisons des étalons nationaux de résistance électrique. — **Paul Janet** : Observations à propos de la Note précédente. — **Arcadius Piekara** : Anisotropie magnétique des acides gras. — **Pierre Bricout** et **Robert Salomon** : Sur l'emploi de l'oscillographe cathodique pour l'étude de l'aimantation de substances ferromagnétiques. — **Charles Courtot** et **Abbas Motamedi** : Introduction à l'étude de la chimie du séléniure de diphénylène. — **Paul Seltzer** : Sur la répartition verticale de la température en forêt. — **Jacques-Emile Abelous** et **René Argaud** : Sur la formation de l'adrénaline dans la glande surrénale. Rôle des lipides et lipoïdes dans l'adrénalogénèse. — **Marc André** : Sur une Ecrevisse américaine pullulant aux portes de Paris. — **Maurice Doladilhe** : Recherches sur le pouvoir complémentaire des sérums sanguins. — Mlle **Mathide Zirnheit** : Un nouveau milieu de culture particulièrement favorable au développement et à l'entretien de la virulence du B. *typhi murium*.

Séance du 3 Septembre 1934.

S. K. Zaremba : Sur une extension de la notion d'équation différentielle. — **Rolf Nevanlinna** : Sur un principe général de l'analyse. — **Ed. le Danois** et **L. Beauge** : Sur le relief du bord du plateau continental à l'ouest de l'entrée de la Manche. — **Quirino Majorana** : Sur un nouveau dispositif interférentiel. — **Jean Ratelade** : Précipitation rythmique de chromate d'argent dans la cellophane. — **Charles Courtoit** et **Joseph Frenkiel** : Sur les phényltolyl- et les ditolylsulfinones.

Séance du 24 Septembre 1934.

D. Pompéiu : Sur la définition des fonctions analytiques de deux variables. — Mlle **Suzanne Veil** : Observations chimiques qualitatives dans la gélatine en couche plane. — **Henri Gault** et **Albert Roesch** : Sur l'éther et l'acide diméthylolmalonique. — **Robert Lami** : Sur l'alcalinisation spécifique et la répartition des Algues dans les cuvettes littorales. — **A. Jhillet** et **R. Zitti** : *Molinia cœrulea* Moench, Graminée toxique, à acide cyanhydrique. — Mlle **Edna Harde** : Acide ascorbique (vitamine C) et intoxications.

Séance du 1er Octobre 1934.

Paul Levy : Propriétés asymptotiques des sommes de variables aléatoires enchaînées. — **M. Ghermanesco** : Sur le théorème de M. Picard. — **Dimitri Riabouchinsky** : Quelques nouvelles remarques sur l'analogie hydraulique des mouvements d'un fluide compressible. — **Jacques Valensi** : Les hélices aériennes ; photographie des trajectoires, étude des tourbillons secondaires. — **Raymond Amiot** : Adsorption par le charbon de mélanges binaires en solution aqueuse. — **Miroslav Romanowski** : Sur la conservation à l'état hygrométrique 1/2 des bobines de résistance étalon Otto Wolff à fil laqué, exposées aux variations dues aux inégalités de l'humidité atmosphérique. — **André Chrétien** et **Pierre Laurent** : Existence d'un type fréquent de complexe iodé en solution organique. — **Raymond Rohmer** : Sur les hydrates du sulfate cobalteux. — **C. E. Brazier, I. Mazek** et **R. Guilhen** : Influence de la transparence de l'atmosphère sur les résultats fournis par la comparaison de deux pyrhéliomètres. — **Léon Launoy** : Action de la systéine sur la toxicité de l'antimoine.

Séance du 8 Octobre 1934.

Maurice d'Ocagne : Singulière hérésie traditionnelle concernant la théorie de la vis sans fin. — **Paul Montel** : Sur quelques limitations pour les modules des zéros des polynômes. — **David Wolkowitsch** : Sur l'étude purement géométrique du complexe de Painvin. — **G. Polya** : Quelques théorèmes analogues au théorème de Rolle, liés à certaines équations linéaires aux dérivées partielles. — **Pierre Humbert** : Le calcul symbolique à deux variables. — **Alexandre Ghika** : Sur les séries de fonctions harmoniques. — **Michel Luntz** : Le mouvement du fluide parfait autour d'un contour déformable. — **Théodore Ionescu** et Mlle **Ionica Cerkez** : Sur un redresseur à gaz ionisé pour courants alternatifs de moyenne tension dans le champ magnétique. — **Robert Cordonnier** : Dichroïsme circulaire magnétique des solutions de l'hydrate cupriammoniacal et des sels correspondants (nitrate et sulfate). — **James Basset** et **Maurice Dodé** : Sur l'oxydation directe de l'iode et des iodures aux ultra-pressions. — Mlle **Marthe Montagne** : Constitution et propriétés des céto-aniles. **Louis Chassevent** : Sur les formations de composés définis cristallisés au début du durcissement des ciments siliceux. — **Albert Demolon** et **E. Bastisse** : Sur la dispersion des colloïdes argileux des sols et des sédiments. — **Léon Bertrand** et **Paul Goby** : Sur le Trias et l'Infralias des environs de Grasse et du Bar. — **Josué Hoffet** : Sur la structure du Haut-Laos occidental. — **G. Rempp** et **J.-P. Rothé** : Sur les phénomènes actuels de nivation et d'accumulation neigeuse dans les Hautes-Vosges. — **Bernard Trouvelot, Marc Raucourt** et **Jean Castets** : Remarques sur le mode d'action physiologique des principes actifs de *Solanum tuberosum* envers les larves de *Leptinotarsa decemlineata*. — **Jean Loiseleur** ; Phénomènes chimiques qui accompagnent la résorption du tissu irradié.

Séance du 15 Octobre 1934.

J. Costantin : Influence des hautes latitudes sur les rendements agricoles de la Pomme de terre dans l'Amérique du Nord. — **Wladimir Vernadski** : Où doit-on chercher l'eau lourde du point de vue géochimique ? — **Edouard Chatton** et **André Lwoff** : Sur un infusoire parasite des poils sécréteurs des Crustacés Edriophtalmes et la famille nouvelle des *Pilisuctoridæ*. — **Albert Toussaint** : Contribution à l'étude des interactions entre des ailes sustentatrices en courant plan. Application au cas des cellules biplanes. — **Emile Sevin** : Sur le jeu des ondes, du spin et des nombres. — **Marcel Pauthenier** et **Léon Agostini** : La loi de charge d'une particule sphérique dans un champ ionisé. — **Pierre Jolibois** : Electrolyse des solutions salines au moyen d'électrodes en eau distillée. — **Vasilesco Karpen** : Pile électrique utilisant l'énergie d'oxydation de l'alcool. — **Aurel Jonesco** : Spectre d'absorption de l'acétylène dans la région 2350-2050 Å. — **Benjamin Bloch** et **Jacques Errera** : L'influence de la température sur l'absorption des liquides organiques dans l'infra-rouge proche. — **Auguste Rousset** : Etude expérimentale de l'opalescence critique des mélanges binaires. — **Georges Bruhat** et **Pierre Grivet** : Sur l'emploi de compensateurs nus à l'analyse des vibrations elliptiques. — **Hubert Forestier** et **Georges Guiot Guillain** : Une nouvelle variété ferro-magnétique de sesquioxyde de fer. — **Wilfried Heller** : Sur l'altération des sols hydrophobes par l'action de la lumière en relation avec leur stabilité naturelle. — **Maurice Lambrey** : Sur la vitesse de décomposition de quelques éthers nitriques à basse température. — **André Sanfourche** : Sur l'oxydation du silicium à basse température. — **Dimitre Ivanoff** : Sur la constitution de la dypnopinacone de M. M. Delacre. — **Christophe Gaudefroy** : La surface de biréfringence et la propriété singulière de certaines lames cristallines. — **Adrien Davy de Virville** : Sur les principaux types de flaques du littoral atlantique. — **Antoine Magnan, Claude Magnan** et **Albert de Villelongue** : Contribution à l'étude de la vision des Poissons. — Mlle **Edna Harde** et **Marcel Philippe** : Observations sur le pouvoir antigène du mélange toxine diphtérique et vitamine C. — **Constantin Levaditi** et Mlle **Yvonne Manin** : Mécanisme de l'action spirochéticide du bismuth. — **C. Mathis, J. Laigret** et **C. Durieux** : Trois mille vaccinations contre la fièvre jaune en Afrique Occidentale Française au moyen du virus vivant de souris, atténué par le vieillissement.

Le Gérant : Gaston Doin.

Sté Gle d'Imp. et d'Edit., 1, rue de la Bertauche, Sens. — 11-34.